



MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera



AUTORES

I.A. M.Sc. Hugo R. García B. • M.V.Z. Luis C. Albarracín C. • I.Q. Adriana Toscano Latorre
I.A. Natalia J. Santana M. • I.A. Orlando Insuasty B.

COLABORADORES

E.C.Agr. M.Sc. Gonzalo Rodríguez B. • I.A. M.Sc. Roberto Manrique E. • I.Q. Esperanza Prada F.
I.A. Guillermo Osorio C. • I.A. Rodrigo Torres • Mic. Joanna C. Bohórquez R.
I.A. Carolina García P.



© Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, 2007

ISBN: 978-958-8311-17-3

Código único interno: 65

Fotografías: Hugo García, Adriana Toscano, Natalia Santana

Dibujos y diagramas: Jairo Ulloa, Adriana Toscano

Edición: Hugo García, Adriana Toscano, Camilo Baquero

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Fotomecánica, impresión y encuadernación



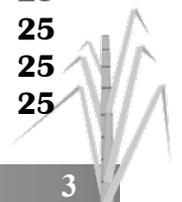
Tel: 2885338, Bogotá, DC.
www.produmedios.com

Diseño gráfico: Dannhtte

Printed in Colombia
Impreso en Colombia

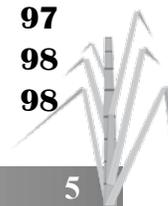
CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. ASPECTOS AGRONÓMICOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA PANELERA	13
1.1 MORFOLOGÍA DE LA CAÑA	14
1.1.1 ÓRGANOS DE LA PLANTA DE CAÑA	14
1.2 ECO-FISIOLOGÍA DE LA CAÑA	15
1.3 MANEJO AGRONÓMICO	16
1.3.1 ADECUACIÓN DEL SUELO	16
1.3.2 PREPARACIÓN DEL SUELO	16
1.3.3 ELABORACIÓN DE SURCOS PARA SIEMBRA	17
1.4 SISTEMAS DE SIEMBRA, POBLACIÓN DE PLANTAS Y MANEJO	17
1.4.1 SELECCIÓN DE SEMILLAS Y SEMILLEROS	18
1.4.2 SIEMBRA	19
1.4.3 RESIEMBRA	20
1.4.4 FERTILIZACIÓN	20
1.4.5 CONTROL DE ARVENSES	20
1.4.6 MADUREZ Y COSECHA	20
1.4.7 SISTEMA DE CORTE	21
2. VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR	22
2.1 VARIETADES DE CAÑA EN COLOMBIA	22
2.2 CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN LAS VARIETADES DE CAÑA	22
2.2.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	23
2.2.2 CARACTERÍSTICAS SECUNDARIAS COMPLEMENTARIAS	23
3. SUELOS: NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA PANELA	25
3.1 TEXTURA DE SUELOS EN ZONAS PRODUCTORAS DE CAÑA	25
3.1.1 SUELOS FRANCO Y FRANCO – ARCILLOSOS	25
3.1.2 SUELOS FRANCO – ARENOSOS	25
3.1.3 SUELOS ARCILLOSOS, ARCILLO-LIMOSOS Y FRANCO-ARCILLO-LIMOSOS	25



3.2	ESTRUCTURA DEL SUELO	25
3.3	EL PH DE LOS SUELOS Y SU RELACIÓN CON EL CULTIVO	26
3.4	GEOMORFOLOGÍA DE LOS SUELOS EN CULTIVOS DE CAÑA PANELERA	26
	3.4.1 SUELOS ESTRUCTURALES - COLUVIALES	26
	3.4.2 SUELOS EROSIONALES - COLUVIALES	27
	3.4.3 SUELOS COLUVIO - EROSIONALES	27
	3.4.4 SUELOS COLUVIALES	27
	3.4.5 SUELOS COLUVIO - ALUVIALES	27
	3.4.6 SUELOS ALUVIALES	27
3.5	NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN	27
	3.5.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO EN REGIONES PANELERAS	27
	3.5.2 NUTRIENTES EXTRAÍDOS POR LA CAÑA	27
	3.5.3 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA CAÑA DE AZÚCAR	27
	3.5.4 FERTILIZACIÓN QUÍMICO - MINERAL	29
	3.5.5 FERTILIZACIÓN MINERAL-ORGÁNICA EN CAÑA PANELERA	29
	3.5.6 DOSIS Y SISTEMAS DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES	31
4.	PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA PANELA	33
	4.1 EL BARRENADOR DEL TALLO	33
	4.1.1 DAÑO CAUSADO E IMPORTANCIA ECONÓMICA	33
	4.1.2 MANEJO Y CONTROL DE LA PLAGA	33
	4.1.3 TRAMPA LUZ PARA CAPTURA DE ADULTOS DEL BARRENADOR DEL TALLO <i>Diatrea sp.</i>	34
	4.2 COMPLEJO SIMBIÓTICO CON LA HORMIGA LOCA	34
	4.2.1 DAÑO E IMPORTANCIA ECONÓMICA	35
	4.2.2 MANEJO INTEGRADO DE LA HORMIGA LOCA	35
	4.3 CARBÓN DE LA CAÑA (<i>Ustilago scitaminea</i> Sydow)	35
5.	ROCESAMIENTO DE LA CAÑA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA	37
	5.1 ASPECTOS GENERALES DEL TRAPICHE	37
	5.1.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESOS	37
	5.1.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	41
	5.2 EXTRACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	42
	5.2.1 CORTE	42
	5.2.2 ALCE Y TRANSPORTE	43

5.3	RECEPCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA CAÑA	43
5.3.1	ÁREA PARA EL APRONTE DE CAÑA	43
5.3.2	PESAJE DE LA CAÑA	44
5.3.3	ALMACENAMIENTO DE CAÑA	45
5.4	OBTENCIÓN DE MIELES PARA PANELA	45
5.4.1	EXTRACCIÓN DE JUGOS	45
5.4.2	LIMPIEZA DE LOS JUGOS	53
5.4.3	FASE DE HORNILLA	55
5.5	ELABORACIÓN DE PANELA	65
5.5.1	CARACTERÍSTICAS DE LA PANELA	65
5.5.2	ÁREA DE ELABORACIÓN	66
5.5.3	BATIDO	68
5.5.4	MOLDEO	69
5.5.5	TAMIZADO	70
5.5.6	SECADO Y ENFRIAMIENTO	71
5.5.7	EMPAQUE	72
5.5.8	PESAJE	75
5.5.9	ALMACENAMIENTO	75
5.6	GESTIÓN PREVENTIVA	75
5.6.2	CONDICIONES PARA EL PERSONAL MANIPULADOR DE ALIMENTOS	78
5.6.3	SEGURIDAD INDUSTRIAL	79
5.6.4	CONDICIONES PARA EQUIPOS Y UTENSILIOS	82
5.6.5	SANEAMIENTO	84
5.6.6	PROGRAMA PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS	85
5.6.7	PROGRAMA PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	90
5.6.8	CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES SANITARIAS	92
6.	USOS DE LA CAÑA Y SUBPRODUCTOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL	93
6.1	INSTALACIONES ANIMALES	93
6.2	LA CAÑA DE AZUCAR EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	93
6.3	CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL	94
6.4	COMPONENTES Y DERIVADOS DE LA CAÑA EN ALIMENTACIÓN ANIMAL	95
6.4.1	COGOLLO, TALLO Y CAÑA INTEGRAL	95
6.4.2	BAGAZO Y BAGACILLO	97
6.4.3	JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR	97
6.4.4	CACHAZA Y MELOTE	98
6.4.5	MIEL DE TRAPICHE	98



6.5	FORMAS DE USO Y DIETAS PARA ANIMALES A PARTIR DE LA CAÑA	99
6.5.1	USOS DEL COGOLLO Y CAÑA INTEGRAL EN LEVANTE Y CEBAS DE NOVILLOS	99
6.5.2	BLOQUES NUTRICIONALES	102
6.5.3	ALIMENTACIÓN DE CERDOS CON MELOTE Y JUGO DE CAÑA	103
7.	AGROFORESTERÍA EN LA UNIDAD PRODUCTIVA FINCA TRAPICHE	106
7.1	LA CAÑA Y LAS ESPECIES FORRAJERAS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL	108
7.1.1	MATARRATÓN (<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud.)	110
7.1.2	GUÁSIMO (<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.)	110
7.1.3	CAYENO, (<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>)	111
7.1.4	LEUCAENA, (<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit.)	111
7.1.5	MORERA (<i>Morus alba</i>)	112
7.1.6	MIRASOL (<i>Tithonia diversifolia</i> (Hemsl.) Gray.)	113
7.1.7	NACEDERO, (<i>Trichanthera gigantea</i> (H&B) Ness.)	113
7.1.8	OTRAS ESPECIES CON POTENCIAL FORRAJERO	114
8.	PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN FINCAS PANELERAS	115
8.1	FERTILIZACIÓN ORGÁNICA	115
8.2	PROPIEDADES DE UN ABONO ORGÁNICO	116
8.2.1	¿QUE ES LA MATERIA ORGÁNICA?	118
8.3	¿QUÉ ES EL COMPOST?	118
8.4	¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE?	118
8.5	MACRO Y MICROORGANISMOS QUE DEGRADAN LA MATERIA ORGÁNICA	118
8.5.1	MICROORGANISMOS	118
8.5.2	MACROORGANISMOS	121
8.6	CONSIDERACIONES DEL PROCESO	121
8.6.1	ESTRUCTURA Y TAMAÑO DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR	121
8.6.2	DENSIDAD	123
8.6.3	BALANCE DE NUTRIENTES	123
8.6.4	HUMEDAD INICIAL DE MEZCLA	123
8.6.5	pH DE LA MEZCLA	124
8.7	RESIDUOS A COMPOSTAR EN LAS UPFT	124
8.7.1	MATERIALES VEGETALES	124
8.7.2	EXCRETAS ANIMALES	124

8.8	MODELO DE CAMAS EN SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN PECUARIA	125
8.8.1	CAMA BLANDA	126
8.8.2	CAMA PROFUNDA	126
8.9	TÉCNICAS DE COMPOSTAJE	129
8.9.1	COMPOSTAJE EN PILAS	129
8.9.2	COMPOSTAJE EN CAJONES	129
8.10	INSTALACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST	130
8.11	MANEJO DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE SEGÚN LA ESPECIE PECUARIA	131
8.11.1	CERDOS	131
8.11.2	BOVINOS	133
8.11.3	AVES	135
8.12	CONTROL DEL PROCESO	135
8.12.1	TEMPERATURA	136
8.12.2	AIREACIÓN	136
8.12.3	HUMEDAD	136
8.13	CONDICIONES FINALES DEL PROCESO	137
8.13.1	PROCESO DE REFINACIÓN	137
8.13.2	RENDIMIENTO	137
8.13.3	ACOPIO Y EMPAQUE	138
8.13.4	ASPECTOS SANITARIOS	138
8.14	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y APLICACIÓN DEL COMPOST	139
8.14.1	COMPOSICIÓN	139
8.14.2	APLICACIÓN	139



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Producción de caña (t/ha) de acuerdo con el método y las distancias de siembra.	18
TABLA 2.	Periodo vegetativo de variedades de caña en diferentes regiones de Colombia.	21
TABLA 3.	Variedades para producción de panela y/o miel para las diferentes regiones agroecológicas.	23
TABLA 4.	Principales características de las variedades de caña de mayor potencial agroecológico.	24
TABLA 5.	Nutrientes extraídos por la caña y sus requerimientos de fertilización.	28
TABLA 6.	Requerimientos de fertilización en kg/ha según la fertilidad natural del suelo.	28
TABLA 7.	Caracterización de suelos para el manejo y fertilización en caña panelera.	28
TABLA 8.	Tipos de materia orgánica en el suelo.	30
TABLA 9.	Rendimiento de caña, efecto de la fertilización orgánica y química.	31
TABLA 10.	Estado de madurez de la caña de acuerdo al índice de madurez.	43
TABLA 11.	Composición general del jugo de caña	50
TABLA 12.	Dimensiones de prelimpiador con relación a la capacidad de producción del trapiche.	55
TABLA 13.	Mucilagos vegetales más importantes para la clarificación de jugos.	61
TABLA 14.	Composición de panela en bloque y granulada.	66
TABLA 15.	Transmisión de oxígeno y vapor de agua en materiales escogidos y polímeros biodegradables	73
TABLA 16.	Número de mililitros de solución de cloro por botella.	77
TABLA 17.	Capacidad para el tanque de almacenamiento de agua.	78
TABLA 18.	Relación área de campo de oxidación y tipo de suelo.	88
TABLA 19.	Parámetros de la EPA para el diseño de zanjas filtrantes.	89
TABLA 20.	Parámetros de diseño para pozos filtrantes según la EPA	90
TABLA 21.	Composición nutricional promedio de la caña de azúcar para forraje. % B.H.	95
TABLA 22.	Composición nutricional del cogollo.	96
TABLA 23.	Composición nutricional en base seca del tallo de caña.	97
TABLA 24.	Calidad nutricional del bagazo y bagacillo de caña.	97
TABLA 25.	Composición química y nutricional del melote y la cachaza.	98
TABLA 26.	Composición química y nutricional de la miel de trapiche.	99
TABLA 27.	Dieta suministrada para bovinos en fase de levante y ceba.	100
TABLA 28.	Composición química y bromatológica de la caña de azúcar (secado natural).	101
TABLA 29.	Composición de los bloques nutricionales, materias primas para elaborar 100 kg.	102
TABLA 30.	Levante y ceba de cerdos con melote, jugo de caña y suplemento proteico del 35%.	103
TABLA 31.	Dieta recomendada para pollos a base de jugo de caña y melote.	105
TABLA 32.	Resultados obtenidos con pollos alimentados con jugo de caña y melote.	105
TABLA 33.	Especies para usos múltiples en sistemas productivos de caña panelera.	107
TABLA 34.	Arreglos recomendados para el establecimiento de las especies agroforestales.	109
TABLA 35.	Características de otras especies con potencial forrajero.	114
TABLA 36.	Ventajas y desventajas del efecto de la adición de materia orgánica al suelo.	117
TABLA 37.	Contenido de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O aportados por tonelada de estiércol, según la especie animal.	125
TABLA 38.	Requerimientos diarios de bagazo por cerdo en función del peso del animal.	133
TABLA 39.	Producción de compost a partir de porquinaza y bagazo de caña.	134
TABLA 40.	Requerimientos diarios de bagazo en bovinos en función del peso del animal.	134
TABLA 41.	Producción de compost a partir de bobinaza y bagazo de caña.	135
TABLA 42.	Características fisicoquímicas del compost obtenido a partir de subproductos de las UPFT.	140
TABLA 43.	Composición química de la ceniza de trapiche.	140

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	Factores que influyen en el crecimiento del cultivo de caña.	13
FIGURA 2.	Componentes morfológicos que identifican el nudo y entrenudo del tallo de caña de azúcar.	15
FIGURA 3.	Preparación del suelo para siembra de la caña.	17
FIGURA 4.	Surcos para siembra de caña.	18
FIGURA 5.	Sistema de siembra y germinación de la caña a chorrillo continuo.	19
FIGURA 6.	Equipo de aplicación de agroquímicos para control de malezas.	21
FIGURA 7.	Estructura de los suelos.	26
FIGURA 8.	Aplicación de fertilizantes en caña panelera.	32
FIGURA 9.	Barrenador de la caña y perforaciones en tallos provocadas por <i>Diatraea sp.</i>	33
FIGURA 10.	Trampa luz para capturar adultos de <i>Diatraea sp.</i>	34
FIGURA 11.	Síntoma de la enfermedad del carbón.	36
FIGURA 12.	Mapa de proceso para la producción de panela.	38
FIGURA 13.	Diagrama de flujo del proceso tecnológico de producción de panela.	39
FIGURA 14.	Trapiche panelero de la Hoya del río Suárez.	40
FIGURA 15.	Distribución en planta de un trapiche panelero.	41
FIGURA 16.	Refractómetro de laboratorio, refractómetro de campo y sacarímetro.	43
FIGURA 17.	Alce y transporte de caña.	44
FIGURA 18.	Área para el apronte de caña.	44
FIGURA 19.	Báscula de suelo para el pesaje de caña.	45
FIGURA 20.	Molinos: Vertical de tracción animal y horizontal de tracción mecánica	46
FIGURA 21.	Molino horizontal de cinco mazas y dos molinos colocados en serie.	47
FIGURA 22.	Motores diesel y eléctrico empleados para accionar molinos paneleros.	49
FIGURA 23.	Bagacera tradicional y bagacera de cobertura plástica.	52
FIGURA 24.	Filtro y prelimpiador para jugos.	53
FIGURA 25.	Prelimpiador 1 y 2.	54
FIGURA 26.	Ilustración isométrica de las operaciones del proceso de elaboración de panela.	56
FIGURA 27.	Corte longitudinal de un trapiche.	57
FIGURA 28.	Flujos en hornillas paneleras.	57
FIGURA 29.	Puerta de alimentación en hornilla con cámara doble, parrilla vista interior y diagrama.	58
FIGURA 30.	Cámara de combustión Tradicional y tipo Ward-Cimpa.	59
FIGURA 31.	Diferentes tipos de pailas desarrolladas por Corpoica.	59
FIGURA 32.	Ducto de gases y Chimenea	60
FIGURA 33.	Maceración de la especie aglutinante y recipiente para la preparación del aglutinante.	61
FIGURA 34.	Adición de las cortezas y formación de la cachaza.	62
FIGURA 35.	Cinta indicadora de pH.	64
FIGURA 36.	Riesgo por contaminación microbiológica durante las etapas de producción de panela en función de la temperatura de proceso.	67
FIGURA 37.	Área para el batido y moldeo en un trapiche tradicional y mejorado por CORPOICA.	68
FIGURA 38.	Batido y descarga de las mieles para panela en bloque y granulada.	69
FIGURA 39.	Bateas en acero inoxidable diseñadas por CORPOICA.	69
FIGURA 40.	Moldeo en gaveras tradicionales.	70
FIGURA 41.	Remillón o remillón.	71
FIGURA 42.	Pozuelo tradicional y en acero inoxidable diseñado por CORPOICA para lavado de gaveras.	71



FIGURA 43. Tamizado de panela y triturado de borona.	71
FIGURA 44. Secado y enfriamiento de la panela.	72
FIGURA 45. Empaque y pesaje de panela.	73
FIGURA 46. Bodega de almacenamiento de la panela.	76
FIGURA 47. Mapa de riesgos de una planta productora de panela.	80
FIGURA 48. Equipos de protección individual.	81
FIGURA 49. Colores de seguridad para señalización óptica en el trapiche.	81
FIGURA 50. Señales ópticas en el trapiche.	83
FIGURA 51. Sistema para la disposición de aguas residuales.	86
FIGURA 52. Diseño de un tanque séptico.	87
FIGURA 53. Cajas de distribución.	87
FIGURA 54. Sistema de tratamiento de zanjas filtrantes.	88
FIGURA 55. Sistema de tratamiento unido a pozo filtrante	89
FIGURA 56. Corrales para el manejo de animales.	94
FIGURA 57. Productos, subproductos y usos obtenidos del proceso de producción de panela.	96
FIGURA 58. Suministro de cogollo en bovinos.	100
FIGURA 59. Preparación de ensilaje para la conservación de cogollo picado.	101
FIGURA 60. Secado de la Caña. En sistemas bajo techo y libre exposición.	102
FIGURA 61. Elaboración de bloque nutricional a partir de bagacillo.	103
FIGURA 62. Cerdos alimentados con subproductos del procesamiento de la caña.	104
FIGURA 63. Pollo blanco, alimentación a partir de melote.	104
FIGURA 64. Especies forrajeras que contribuyen en la alimentación animal.	110
FIGURA 65. Especies forrajeras que contribuyen en la alimentación animal.	112
FIGURA 66. Cerca viva de Nacedero o aro.	113
FIGURA 67. Modelo integral del sistema productivo de caña.	116
FIGURA 68. Representación esquemática de la obtención de compost.	119
FIGURA 69. Proceso de compostaje.	120
FIGURA 70. Macro y microorganismos presentes en una pila de compost.	120
FIGURA 71. Sucesión de los grupos de macro y microorganismos presentes en una pila de compost.	122
FIGURA 72. Modelo de camas para el manejo de sistemas de explotación pecuaria.	126
FIGURA 73. Modelo de cama profunda para especies menores y mayores.	127
FIGURA 74. Beneficios del manejo de instalaciones pecuarias en cama de bagazo.	128
FIGURA 75. Problemas en el manejo de camas.	129
FIGURA 76. Tamaño de las pilas de compost.	130
FIGURA 77. Instalaciones animales y para el manejo del compostaje.	131
FIGURA 78. Compostera - Área de curado y empaque.	132
FIGURA 79. Diseño de la compostera, compostaje en pilas.	132
FIGURA 80. Diseño del cajón para compostaje.	133
FIGURA 81. Molino empleado para la pulverización de compost.	137
FIGURA 82. Apariencia de la pila de compost después de su degradación.	138
FIGURA 83. Pesaje, acopio y empaque de lonas.	139

INTRODUCCIÓN

Mediante diversos estudios se ha podido determinar que la agroindustria de la panela en Colombia cumple importantes roles económicos, sociales, de seguridad alimentaria, culturales y ambientales. Algunos indicadores de su importancia son: Colombia es el primer consumidor mundial de panela per cápita y el segundo productor después de la India, con una participación del 12% en la producción mundial. A nivel interno, la producción panelera contribuye con cerca del 3,5% a la formación del PIB agrícola. La producción de caña, la transformación y la comercialización de panela vinculan cerca de 370.000 personas, especialmente pequeños productores y procesadores rurales que desarrollan su actividad en 70.000 fincas y 20.000 trapiches, siendo la principal fuente de ingresos y empleo en las zonas andinas de mediana altura del país. El consumo de panela representa el 2,18% del gasto familiar en alimentos y aporta el 7% de las calorías en la dieta alimenticia de la población. La caña panelera, por ser un cultivo semipermanente y por el manejo biológico de sus problemas fitosanitarios, se considera una especie conservacionista que protege el suelo de la erosión y mantiene el equilibrio de los agroecosistemas en las zonas de ladera. Estos elementos ponen de relieve la agroindustria panelera como una estrategia productiva clave en la reducción de la pobreza, en la medida que favorece el acceso sostenible a los recursos naturales, aumenta el capital social local y regional y contribuye a la diversificación de ingresos de los productores campesinos.

A pesar de lo anterior, la agroindustria de la panela afronta serios problemas de mercado que limitan su desarrollo y el mantenimiento de sus múltiples roles en la sociedad colombiana. En primer lugar, la producción artesanal de panela enfrenta una fuerte competencia con el azúcar obtenido en

condiciones de gran industria que suscitan cambios en los patrones de consumo a favor del azúcar, especialmente en las zonas urbanas. De otro lado, estructuralmente se presenta una sobreoferta de caña para azúcar y panela que ocasionan frecuentes caídas de los precios que afectan principalmente a los pequeños productores paneleros. Para contribuir a solucionar estos problemas, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria -CORPOICA-, viene adelantando estudios dirigidos a desarrollar estrategias de mejoramiento de la calidad y la presentación de la panela, a fin de incrementar la demanda y diversificar los usos de la caña hacia la producción pecuaria, lo cual ofrece múltiples beneficios en términos de reducir los riesgos de mercado por la baja del precio de la panela, la diversificación de los ingresos domésticos con la venta de los animales, el mejoramiento de la dieta alimenticia y el aprovechamiento más eficiente y sostenible de los recursos de la finca.

La adopción de la estrategia productiva orientada hacia la diversificación de los usos de la caña involucra cambios en los patrones de organización de la unidad microempresarial, un uso más eficiente de los recursos de tierra, trabajo y capital, y el diseño de estrategias para la incursión efectiva a los mercados para los nuevos productos del sistema. Las decisiones de los productores tienen como reto armonizar los objetivos de generación de ingresos mediante el desarrollo de actividades multi-producto, que combinan el cultivo de la caña, la producción de panela, la introducción de nuevas especies agroforestales al sistema, la producción de especies pecuarias y el aprovechamiento de residuos de la finca, dadas las restricciones de disponibilidad de recursos y las limitantes de mercado.

En este sentido, con la presente publicación, CORPOICA y el Ministerio de Agricultura y De-



sarrollo Rural, se han compilado una serie de resultados tecnológicos de sus proyectos de investigación en diversificación de usos de la caña y la elaboración más limpia de panela, con el objetivo de aportar elementos conceptuales y prácticos a los productores y a los asistentes técnicos que les permita hacer un uso más eficiente e integrado de los recursos productivos de las fincas y los trapiches.

La publicación se ha dividido en ocho capítulos: en los primeros cuatro se presentan los principales elementos agronómicos para el adecuado manejo del cultivo de la caña, haciendo énfasis en aspectos de morfología y ecofisiología de la planta, las labores de cultivo recomendadas desde la preparación del suelo para la siembra de la caña hasta el corte y el mantenimiento de las socas; las variedades de caña, sus características y recomendaciones de uso y manejo; los suelos, la nutrición y la fertilización del cultivo; las principales plagas y enfermedades de la caña y las recomendaciones tecnológicas para su manejo. En el quinto capítulo se hace una recopilación del conjunto de recomendaciones de Buenas Prácticas de Manufactura para la elaboración de la panela, considerando aspectos de la localización y características de las instalaciones y equipos del trapiche, las operaciones de manejo de la caña, del jugo y de las mieles para la fabricación de la panela, las características del producto y la implementación de operaciones preventivas tendientes a asegurar la buena calidad de la panela y la seguridad industrial de los operarios del trapiche. En el capítulo sexto se presentan diversas alternativas para aprovechar la caña y los subproductos del cultivo y del proceso en progra-

mas de alimentación de animales, basadas en experiencias realizadas por productores paneleros en diferentes regiones del país; en éste se consideran particularmente las características nutricionales de la caña y los subproductos y sus posibilidades de uso en dietas para la ceba de bovinos, porcinos y pollos. El séptimo capítulo presenta una serie de alternativas para el aprovechamiento y manejo de especies forestales asociadas al sistema productivo de la caña, la panela y especies pecuarias, haciendo énfasis en sus posibilidades de utilización como fuentes proteínicas en las dietas para animales. En el octavo y último capítulo se cierra el ciclo productivo con la proposición de prácticas tecnológicas mediante el compostaje de los residuos del cultivo y el proceso de la caña y de las excretas de los animales introducidos en los programas de ceba, para la producción de abono orgánico, el cual puede ser utilizado en los cultivos de caña y de otras especies en la finca y/o para la generación de ingresos adicionales mediante su venta.

Los autores agradecen a los productores de caña y panela que participaron activamente en el desarrollo de las investigaciones y sus valiosísimos aportes. Esta publicación es el resultado de una combinación del conocimiento empírico o saber-hacer de los productores y la inclusión de conceptos científicos de diversas disciplinas del conocimiento, con lo cual se espera brindar elementos tecnológicos prácticos que permitan mejorar efectivamente las condiciones de producción y el bienestar de los actores sociales vinculados a la agroindustria rural de la panela en Colombia.

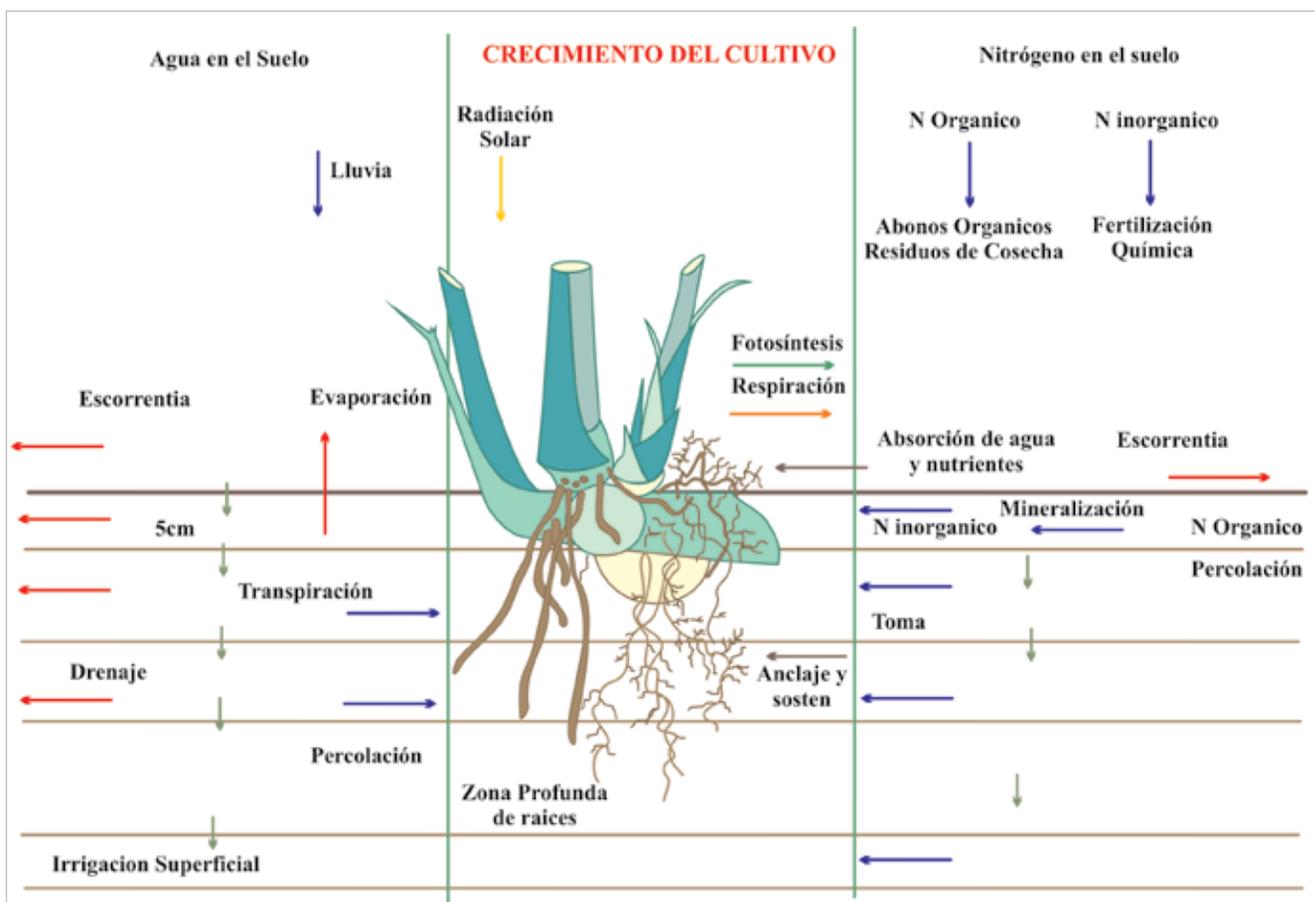
1. ASPECTOS AGRONÓMICOS DEL CULTIVO DE LA CAÑA PANELERA

El manejo agronómico del cultivo de caña, comprende la interacción de factores de tipo genético (estudio de variedades), eco-climático (factores ambientales como presión atmosférica, radiación solar, temperatura, humedad relativa y precipitación), edáficos (características de los suelos) y técnicos (relacionados con el manejo del cultivo). El estudio de estos factores per-

mite determinar la influencia de los mismos sobre la bioproduktividad de la caña en una zona agro-climática dada; de este modo es posible ubicar las variedades de acuerdo con su grado de adaptación al medio ecológico y en función de los rendimientos deseados (Figura 1).

No obstante, el cultivo de una variedad determinada en las condiciones óptimas de adaptación

FIGURA 1. Factores que influyen en el crecimiento del cultivo de caña.



Fuente: Rodríguez H. Nubia S. Descripción de los aspectos morfológicos y fisiológicos de la planta de caña. Programa Nacional Recursos Biofísicos, CORPOICA - Palmira. 1999.

no es suficiente para obtener altos rendimientos y son necesarias también prácticas apropiadas de cultivo como: adecuación y preparación de la tierra, sistemas de siembra, fertilización, control de malezas, manejo de plagas y enfermedades, riego, control de maduración y cosecha.

1.1 MORFOLOGÍA DE LA CAÑA

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), de la cual se obtiene la panela, es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las gramíneas. Como pasto perenne que es, puede multiplicarse a partir de semilla verdadera, yemas nodales y en algunos casos a partir de rizomas. Su ciclo de vida se caracteriza por un largo periodo vegetativo y una fase reproductiva altamente dependiente de las condiciones ambientales imperantes.

La bioproductividad de la caña en una zona agro-climática depende de la radiación total recibida durante la estación de crecimiento y la eficiencia en su utilización. El rendimiento puede ser entonces analizado en términos de: desarrollo de hojas y capacidad fotosintética de la planta y producción de biomasa, nutrientes y acumulación de sacarosa. (Muchow, et al., 1993). Comercialmente, el rendimiento de la caña es expresado en función del peso fresco de los tallos que pueden ser molidos; lo cual corresponde básicamente a la fracción de la biomasa total destinada a tallos. A su vez el rendimiento de sacarosa es determinado por la partición de biomasa a sacarosa.

Cada uno de los órganos de la planta y, ella en su conjunto, poseen mecanismos adaptativos o estrategias que le permiten la utilización de los recursos disponibles. El conocimiento de estos aspectos provee las herramientas para su manejo a través de las diferentes etapas de la cadena productiva, con la posibilidad de intervenir en aspectos tan disímiles como la planeación de la siembra y la operación en fábrica.

1.1.1 ÓRGANOS DE LA PLANTA DE CAÑA

1.1.1.1 Sistema Radical

Constituye la parte subterránea del eje de la planta. Órgano de sostén especializado en la absorción de sustancias. La habilidad de la planta para absorber

tanto agua como nutrientes del suelo está relacionada con su capacidad de desarrollar un extenso sistema radical (Figura 1). En la planta de caña se distinguen dos tipos de raíces:

- **Raíces primordiales.** Corresponden a raíces delgadas y muy ramificadas; su período de vida es de tan solo 2 a 3 meses.
- **Raíces permanentes.** Brotan de los anillos de crecimiento de los nuevos brotes; son numerosas y gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta.

1.1.1.2 Tallo

En la planta de caña, se constituye en el órgano de almacenamiento de azúcares y por lo tanto desde el punto de vista comercial, es el más importante. El número, diámetro, color, crecimiento y longitud de los tallos dependen de la variedad, condiciones ambientales de la zona y el manejo del cultivo. Los tallos se forman a partir de la yema preexistente en el material de siembra y de las yemas de los nuevos brotes (Figura 2).

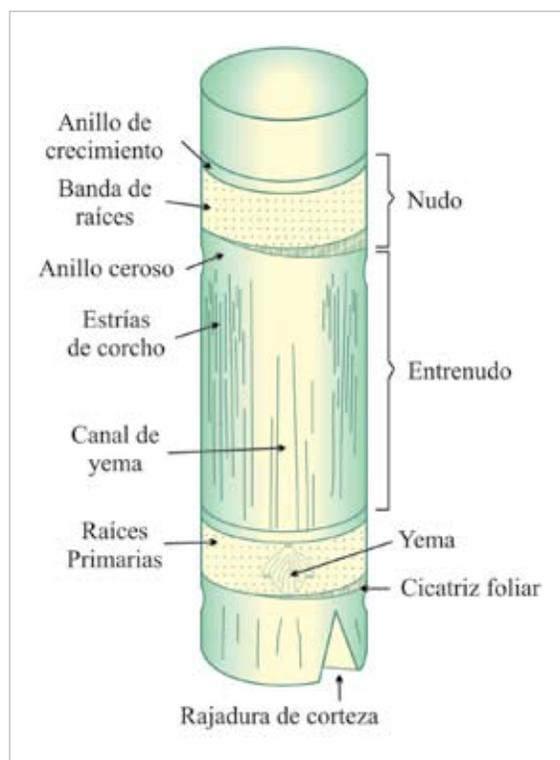
Como parte integral del brote (tallos y hojas), una de sus características en estado primario de desarrollo es su división en nudos y entrenudos; esta división es consecuencia de la manera de originarse las hojas en el ápice del brote y del subsiguiente crecimiento del eje que las soporta.

El nudo corresponde a la porción más gruesa y fibrosa. Los nudos llevan los primordios de las hojas y aparecen separados uno del otro por el entrenudo. Se encuentra formado por el anillo de crecimiento, la banda de raíces, el nudo, la cicatriz foliar, la yema y el anillo ceroso.

La diferenciación de tallos en épocas avanzadas del desarrollo provoca desuniformidad en el grado de madurez, lo cual depende de factores como el volcamiento y la ruptura de la parte terminal del tallo, que a su vez puede ser ocasionada por daño de insectos o enfermedades, floración o aplicación de madurantes. La población de tallos es una característica altamente dinámica que depende de la variedad y las condiciones bajo las cuales se desarrolla.

Los azúcares inician su acumulación en los entrenudos de la caña desde que se inicia su elon-

FIGURA 2. Componentes morfológicos que identifican el nudo y entrenudo del tallo de caña de azúcar.



Fuente.: Catálogo de variedades de caña para la producción de panela en la Hoya del Río Suárez. CORPOICA-E.E.CIMPA, 2003.

gación y continua aún después que este período ha terminado. La calidad del jugo de la caña está determinada por la concentración de sacarosa. Se espera entonces que su concentración sea alta, mientras que la de otros azúcares, ácidos orgánicos y sales minerales sea baja. La máxima concentración de sacarosa y el momento en el cual se alcanza dicha concentración puede ser una característica varietal, pero también de alguna manera regulada por condiciones ambientales o prácticas culturales.

1.1.1.3 Hoja

Se origina en los nudos y se distribuye en posiciones alternas a lo largo del tallo. En la caña, la hoja está formada por la lámina foliar y la vaina; la unión de estas dos partes se denomina lígula. El desarrollo y mantenimiento del área foliar verde es importante para asegurar que una mayor proporción de radiación lumínica incidente sea inter-

ceptada para realizar la fotosíntesis y a partir de ella lograr una mayor producción de biomasa.

1.2 ECO-FISIOLOGÍA DE LA CAÑA

El concepto de ecología se define como el estudio de las relaciones recíprocas entre los organismos y su medio ambiente. Los factores ecológicos que constituyen el ambiente en el cual se desarrolla una planta son: climático, biótico y edáfico. Por otra parte los factores más importantes que afectan la fotosíntesis de una planta son: la luz, la temperatura, el CO_2 , la disponibilidad de humedad, los nutrientes, la porción de la hoja y su posición en el tallo, la edad de la planta y las diferentes variedades. Con base en estos dos factores, ecológicos y fisiológicos, se estudia el ambiente y su influencia sobre el desarrollo del cultivo.

- **Luz.** La intensidad lumínica es responsable de la tasa de fotosíntesis e incide sobre el crecimiento de la caña y el desarrollo vegetativo del tallo. Aunque se hagan esfuerzos por mejorar las condiciones del suelo, los rendimientos se reducirán en zonas donde los factores de clima son desfavorables. Además, influye en el rendimiento de azúcar pues la producción de sacarosa puede reducirse hasta en 35%, cuando se cultiva la caña en zonas de alta nubosidad y bajo brillo solar.
- **Temperatura.** Es un factor importante tanto para el desarrollo de la caña, como para la elaboración y acumulación de la sacarosa. Existe una relación directa entre la elongación del tallo y la temperatura media mínima mensual: a medida que ésta última se incrementa, hay mayor crecimiento del tallo, con lo cual el periodo vegetativo se reduce y el rendimiento por hectárea y por mes, aumenta. La caña se desarrolla con excelentes resultados en zonas donde la temperatura media fluctúa entre 25 y 27°C. La temperatura ideal del suelo para el desarrollo normal de las raíces y la toma de nutrientes oscila entre 29 y 32°C. Es importante recalcar que el desarrollo del cultivo está directamente correlacionado con la temperatura media, pero la concentración de azúcares y la calidad de la panela dependen



de otros factores como las diferencias entre la temperatura máxima y mínima promedias y la luminosidad.

- **Precipitación.** El agua es indispensable para la formación de carbohidratos (azúcares) y es un factor determinante de la producción. La caña necesita de 8 a 9mm de agua/ha/día durante la época de verano (días calurosos), y entre 3 y 4mm/ha/día en la época más fría.
- **Vientos.** Es importante hacer referencia a los vientos, ya que en zonas en donde hay influencia de fuertes vendavales, estos arrancan las plantaciones y cuando son calientes y secos aumentan la transpiración de las plantas y resecan el suelo. Esto lleva a un consumo mayor de agua por parte de la planta.
- **Suelo.** La caña crece en diferentes tipos de suelos, no es muy exigente y se desarrolla bien en los suelos de características texturales franco-arcillo-arenoso y los arcillo limosos. No crece bien en suelos arenosos, sin retención de humedad, ni en los demasiado pesados, arcillosos, sin drenaje interno, que causan encharcamiento.
- **Clima.** Los factores climáticos que afectan el cultivo de caña, son: radiación (longitud de onda, intensidad, fotoperíodo), temperatura (aire, suelo), agua (cantidad, frecuencia y agua del suelo) y gases atmosféricos (CO₂, altitud, cambios de presión y vientos).

1.3 MANEJO AGRONÓMICO

1.3.1 ADECUACIÓN DEL SUELO

Esta es una práctica poco conocida en la producción de caña panelera; su importancia radica en su contribución 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 cortada.

El término “adecuación” se refiere a los métodos tecnificados de áreas planas, donde se usan las técnicas agrícolas más avanzadas y donde se realizan en orden las labores de: limpieza y descepada, levantamiento topográfico, diseño de campo, ni-

velación, subsolado, arado, rastrillado y surcado. En zonas tradicionales o de ladera, la adecuación del suelo consiste en: diseño de campo, desmonte del terreno, picado de leña, construcción de canales de riego y construcción de drenaje (en caso de suelos mal drenados).

En el diseño de campo se debe orientar el surco de tal manera que se evite al máximo la erosión, para lo cual, en terrenos inclinados, deben disponerse las hileras del cultivo a través de la pendiente; así, cada surco forma un obstáculo donde choca el agua de escorrentía.

1.3.2 PREPARACIÓN DEL SUELO

Para sembrar la caña se puede abrir un hueco en el cual se deposita un o varios trozos de semilla o abrir solo en el surco donde se va a sembrar las semillas (labranza mínima), como se procede en zonas de ladera; o bien, se puede emplear maquinaria pesada para realizar labores de subsolado, barbecho, cruza, rastra y nivelación. Para el cultivo de la caña panelera específicamente, se utilizan las prácticas de: corte y quema del rastrojo, preparación manual con azadón o pica, roturación (con arado reversible tirado por bueyes) y arado-rastrillado-surcado (con maquinaria pesada).

1.3.2.1 Corte y quema de rastrojo

Consiste en cortar la madera y luego quemar los residuos en forma localizada y de manera amigable con el ecosistema. Esta práctica contribuye a mejorar la disponibilidad de nutrientes de forma rápida, a disminuir la población de algunas plagas y, a estimular la brotación y es un método simple y económico. No obstante las quemas perjudican la vida del suelo, reduciendo el número de especies y provocando el desequilibrio poblacional. Las quemas frecuentes dejan manchones de suelo descubierto, vulnerables a la erosión. Otros problemas que se pueden presentar son el resecamiento del terreno y la creación de una costra que dificulta la infiltración del agua e impide el retorno de las hojas y del pasto al suelo, porque lo transforma en cenizas. Así el suelo queda privado de la materia orgánica.

1.3.2.2 Preparación manual del suelo

Es un método muy útil para renovar socas viejas y donde no sea posible el uso de maquinaria. Consiste en erradicar las socas viejas con pica y luego roturar el sitio donde se va a depositar la semilla. En lotes explotados con otros cultivos, la labor se reduce a abrir la zanja o el hoyo donde se va a depositar la semilla, según el sistema de siembra que se tenga previsto (Figura 3).

1.3.2.3 Preparación con arado de bueyes

Se emplea para lotes en descanso o potreros previamente sobrepastoreados. Se hace con arado de vertedera, el número de pases depende de: el tipo de suelo, la profundidad de siembra y el volumen de residuos vegetales o malezas que sea necesario desmenuzar. Los bueyes se desempeñan mejor en suelos que no estén demasiado húmedos o secos. La arada y los continuos pases dejan el terreno bien mullido y en condiciones adecuadas (Figura 3). Si se presentan capas impermeables cercanas a la superficie, es necesario romperlas para propiciar el enraizamiento profundo.

1.3.3 ELABORACIÓN DE SURCOS PARA SIEMBRA

En regiones lluviosas, se debe surcar el terreno con pendientes moderadas, para evacuar el agua de es-

correntía. Se recomienda trazar los surcos con una profundidad de 20 a 30 cm y un ancho de 30 cm. Esta labor se puede efectuar con surcadores, si se dispone de maquinaria; o manualmente con pica y azadón. La longitud del surco en laderas no debe sobrepasar los 60 m y los lotes deben ser moderados en extensión (Figura 4).

1.4 SISTEMAS DE SIEMBRA, POBLACIÓN DE PLANTAS Y MANEJO

El sistema de siembra depende del grado de tecnología que se utilice. Sin embargo la topografía del terreno determina la tecnología y los equipos a utilizar. En cultivos mecanizados en terrenos planos la distancia de siembra establecida es 1,50 m. Resultados de investigación realizados por el ICA y CORPOICA permiten señalar que el sistema a chorrillo con distancias de 0,80 a 1,20 m entre surcos, ofrece los mejores resultados en producción de caña (de 89 - 109 t/ha) (Tabla 1).

El sistema mateado, con distancias que varían entre 1,0 a 1,30 m entre surcos y 0,25 a 0,50 m entre plantas, con uno y dos esquejes por sitio respectivamente y, en suelos con buena estructura, permite obtener rendimientos muy similares a los del sistema chorrillo (70 - 93 t/ha). En general, no se observan diferencias en rendimiento entre los métodos mateado y chorrillo. La diferencia apre-

FIGURA 3. Preparación del suelo para siembra de la caña.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – C.I. Tibaitatá, 2006.

FIGURA 4. Surcos para siembra de caña.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – C.I. Tibaitatá, 2006.

ciable se da con la distancia entre surcos, siendo mejor la distancias de 120 cm, con rendimientos de caña promedios de 120t /ha, mientras que con distancias entre surcos de 160 cm, se pueden obtener rendimientos hasta de 60 t/ha.

1.4.1 SELECCIÓN DE SEMILLAS Y SEMILLEROS

La caña es una planta altamente heterocigota, que en condiciones normales no produce semilla verdadera o sexual, razón por la que se propaga mediante trozos de tallo o esquejes, los cuales reciben el nombre de “semilla” y normalmente tienen

entre 25 y 35 cm de longitud y de dos a tres yemas. En regiones atrasadas tecnológicamente aun se siembran tallos de 80 a 100 cm, pero en estos casos la dominancia apical de las yemas hace que sólo nazcan las del extremo joven del tallo y que se pierdan las de la base.

Al seleccionar un material para semilla debe tenerse en cuenta que reúna las siguientes características:

- Que esté libre de plagas y enfermedades.
- Que tenga un estado nutricional adecuado.

TABLA 1. Producción de caña (t/ha) de acuerdo con el método y las distancias de siembra.

Método de siembra	Distancia Surcos-plantas (m)	Densidad de siembra	Caña* (t/ha)
Chorrillo	0,80 - 1,20	8 yemas/m	89 - 109
Mateado	1,0 - 1,30 x 0,25 - 0,50	1 ó 2 esquejes/sitio	70 - 93

* Promedio de tres replicaciones y dos cortes en tres localidades de Boyacá y Santander.

Fuente: Manual de caña de azúcar para la producción de panela. CORPOICA- E.E CIMPA. 2000.

- Que tenga la edad de corte y el tamaño recomendados.
- Que sea una semilla pura (libre de mezcla de otras variedades), y
- Que tenga yemas funcionales.

La semilla para siembra puede obtenerse del cogollo, de bretones de plantaciones maduras, de plantilla o primeras socas y de semilleros. Los semilleros se han impuesto en el cultivo de caña, porque es la forma más fácil de asegurar que la semilla sembrada cumpla con las características antes mencionadas, así como, que sea una semilla joven y vigorosa que garantice germinación uniforme, rápido desarrollo, cierre temprano y evite las resiembras. Los semilleros deben programarse con anticipación para asegurar la cantidad de semilla necesaria para la siembra comercial. Aproximadamente 1 ha de semillero proporciona semilla para 10 ha.

Cuando la variedad de caña es bien conocida y se dispone de plantaciones comerciales, se seleccionan las mejores semillas y se establece con ellas el semillero básico. El método de semillero básico y semillero comercial implica un trabajo cuidadoso, de mayor tiempo y costo, pero que retribuye el esfuerzo realizado; además, garantiza una buena planeación del cultivo desde las labores de adecuación y preparación del terreno hasta la siembra.

1.4.2 SIEMBRA

1.4.2.1 Sistema de siembra por chorrillo

Por lo general, la siembra debe realizarse al inicio de las lluvias. En este sistema la semilla se coloca en el fondo del surco y se cubre con una delgada capa de suelo para no afectar la germinación. De acuerdo con la calidad de la semilla, se sembrará por el sistema *chorrillo sencillo* (Figura 5), *chorro medio* o *chorro doble*.

- **Chorrillo sencillo.** Empleado cuando se tiene semilla de muy buena calidad y se tienen condiciones climáticas excelentes para la germinación. La distribución de trozos de semilla se puede hacer en hilera sencilla, uno tras otro en serie. Normalmente se emplean entre 4 y 5 tallos por metro lineal de surco, lo cual equivale a 4 ó 5 t/ha de semilla.
- **Chorrillo medio.** Empleado cuando se tiene semilla de calidad media y se prevén cambios de clima que puedan afectar la germinación. La semilla se coloca en una hilera continua y al lado una hilera discontinua. Este sistema requiere entre 6 y 8t/ha de semilla.
- **Chorrillo doble.** Cuando no se tiene seguridad sobre la calidad de la semilla y/o se espera tiempo seco. Se colocan dos hileras continuas y se requieren entre 8 y 10 t/ha de semilla.

FIGURA 5. Sistema de siembra y germinación de la caña a chorrillo continuo.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E.E. CIMPA, 2000.

1.4.2.2 Sistema por mateado

En el sistema mateado se utilizan dos o tres esquejes, con tres yemas cada uno. Generalmente se usa semilla de cogollo. En algunas regiones, en hoyos cuadrados se pone una semilla en cada esquina, con una inclinación de 45 – 60°. En otras regiones se colocan en forma horizontal dos semillas por hoyo.

1.4.3 RESIEMBRA

Consiste en rehabilitar espacios perdidos de terreno, donde las cepas y retoños hayan desaparecido. Se debe realizar corte tras corte, con el propósito de mantener entre 110 y 125 mil tallos por hectárea al momento de la cosecha. Entre los métodos de resiembra más destacados se tienen: deshije de retoños trozos de tallo sembrados directamente en los sitios de calvas, plántulas pregerminadas en bolsas de polietileno y yemas pregerminadas para resiembra directa. Este último, en condiciones adecuadas de humedad de campo, origina prendimientos superiores al 97% y tanto técnica, como económicamente, es uno de los métodos más accesible y recomendable para ser aplicado.

1.4.4 FERTILIZACIÓN

La caña, es un cultivo permanente que anualmente remueve grandes cantidades de elementos nutritivos del suelo, los cuales deben devolverse mediante fertilización. La capacidad de absorción de los nutrientes del suelo cambia con la variedad sembrada; algunas de ellas, en igualdad de condiciones, pueden absorber mayores cantidades de nutrientes y rendir mejores cosechas de caña de panela. Se ha determinado que la germinación y el vigor de la planta dependen, en gran parte, del estado nutricional de la semilla, lo cual, a su vez, depende de una buena fertilización. Estos aspectos se detallaran más adelante en este capítulo.

1.4.5 CONTROL DE ARVENSES

Se ha determinado que el período más crítico de competencia por agua, luz y nutrientes entre estas especies y el cultivo, ocurre en la etapa de maco-

llamiento; después de que la caña cierra, la sombra que produce el follaje es suficiente para controlarlas. Sin embargo, el control de malezas debe hacerse en forma integrada, combinando métodos culturales, mecánicos y químicos.

□ Control cultural

El control cultural lo ejerce el mismo cultivo sobre las especies arvenses y mediante el desarrollo de 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.

□ Control manual y mecánico

Se realiza con pala o azadón y por lo general, se requieren de dos a cuatro desyerbas por ciclo de cultivo; mientras que el control mecánico se realiza con implementos adaptados al tractor o a los bueyes.

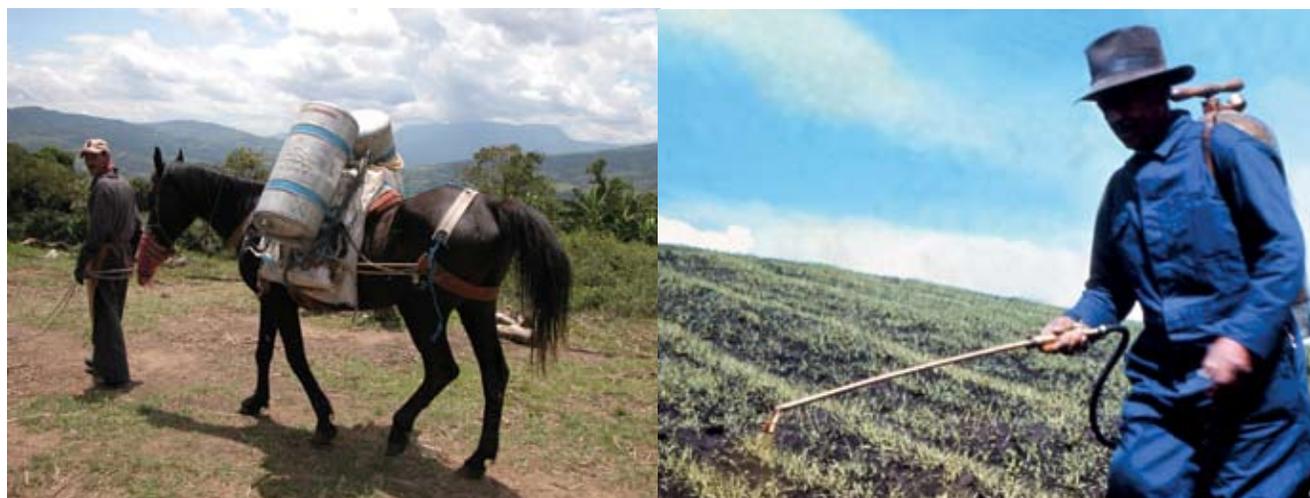
□ Control químico

Se efectúa mediante aplicación de productos específicos para caña panelera. Usado racionalmente, de acuerdo con el tipo de arvenses, en dosis adecuadas y de manera amigable con el medio ambiente, es una alternativa viable. Los productos a base de Ametrina, Atrazina, Diurón y Metribuzina, han dado resultados exitosos en el control de arvenses en caña (Figura 6).

1.4.6 MADUREZ Y COSECHA

Los máximos rendimientos en panela se obtienen cuando la caña está sazónada antes del corte. La edad y las condiciones físicas en que se desarrolla el cultivo cumplen una función fundamental en su maduración. La edad está influenciada por la altitud y por la temperatura: a mayor altitud menor temperatura y mayor período vegetativo, y a menor altitud mayor temperatura y período vegetativo más corto. Estos factores influyen, en igual forma, en la concentración de sacarosa; la cual, se incrementa con la altitud. En la Tabla 2 se presenta el periodo vegetativo en diferentes regiones

FIGURA 6. Equipo de aplicación de agroquímicos para control de malezas.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – Tibaitatá, 2006.

de Colombia para variedades de caña, precoces y tardías, de acuerdo con la altura sobre el nivel del mar y la temperatura media anual.

1.4.7 SISTEMA DE CORTE

En caña para panela se utilizan dos sistemas de corte: a) por entresaque o desguíe y b) corte por parejo. El corte por entresaque, consiste en recolectar las cañas maduras, dejando en el campo las inmaduras para su posterior cosecha.

La frecuencia de corte depende de la capacidad que tenga la planta para regenerar nuevos tallos. El corte por entresaque, es el más utilizado por los pequeños productores que utilizan el sistema de siembra mateado; mientras que el corte por parejo, es utilizado en cultivos tecnificados, donde debido al crecimiento uniforme de los tallos, éstos maduran a la misma edad. En ambos métodos, el corte debe hacerse a ras de tierra, porque un corte de caña mal efectuado disminuye la vida de las socas.

TABLA 2. Período vegetativo de variedades de caña en diferentes regiones de Colombia.

Región	Temperatura media anual (°C)	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo vegetativo (meses)
Eje Cafetero	19	1.400 – 1.600	18 – 24
Valle del Cauca	24	900 -1200	12 – 14
Llanos Orientales	27	300 – 600	10 – 12
Costa Atlántica	28	300 – 600	8 – 11
Cundinamarca	22	900 – 1.500	16 – 18
Hoya del Río Suárez	22	1.200 – 1.800	16 – 22
Antioquia	21	900 – 1700	16 – 24

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E.E. CIMPA, 2006.

2.

VARIETADES DE CAÑA DE AZÚCAR

El estudio de nuevas variedades de alta producción y resistentes a plagas y enfermedades, que sustituyan a las tradicionalmente cultivadas, es indispensable y debe ser permanente para mejorar los rendimientos y la rentabilidad del cultivo o sistema. El mejoramiento genético en caña panelera está orientado a la caracterización y adaptación de variedades de alto rendimiento y agroindustrialmente deseables, que se adapten a las condiciones de manejo de las áreas paneleras y para el beneficio de una comunidad. Los nuevos materiales genéticos deben garantizar, por lo menos: Incrementos en los rendimientos, eficiencia en el corte, alce y transporte, disminución de los costos de producción, reducción de los ciclos de producción, mejoramiento en la calidad de los productos, disminución de los problemas fitosanitarios y nuevas alternativas de uso o aprovechamiento económico (panela granulada, miel, alcohol, forraje, etc.).

2.1 VARIETADES DE CAÑA EN COLOMBIA

Las variedades de caña actualmente cultivadas en Colombia provienen en gran parte de hibridaciones introducidas de otros países y de materiales genéticos producidos actualmente en el país. Las introducciones más importantes provienen de: Java (POJ), Barbados (B), Hawái (H), Puerto Rico (PR), India (CO), EE-UU (CP), Venezuela (V), Brasil (S.P, C.B) y República Dominicana (RD).

Las primeras variedades cultivadas fueron las “criollas”; luego las POJ, destacándose las POJ 2878 y POJ 2714 y posteriormente la CP 57-603

para nombrar las más sobresalientes. Las variedades cultivadas en Colombia a través del tiempo, se pueden dividir en tres grupos:

- **Varietas pioneras:** Criolla, Otaheite, Morada, Cristalina, POJ 2878, POJ 2714, POJ 2961, EPC 48-863, EPC 48-859, Co 421, PR 1059, CP 38-34, H 50-7209, Azul Casagrande, PR 980, H 38-2915, H371933, B 49-119, PR 1048.
- **Varietas actualmente cultivadas:** POJ 2878, POJ 2714, MZC 74-275, Co 421, PR 61-632, Co 419, CP 57-603, PR 1141, H 50-7209, ICA 70-36, ICA 69-11, M 336 x PR 980, My 54-65, RD 75-11, PR 67-1070, Mx 64-1487.
- **Varietas del futuro:** CC 84-75, CC 86-45, CC 85-47, CC 85-92, CC 85-23, CC 85-57.

La variedad juega un papel primordial en la capacidad productiva del cultivo, por la diversidad de condiciones de clima, suelo y manejo en cada región. Se deben adaptar las variedades por nichos agro-ecológicos, pues en estas condiciones es donde expresan su mejor potencial productivo. Como resultado de las investigaciones hechas por CORPOICA - CIMPA, se tienen caracterizadas las variedades de caña para producción de panela, por áreas agroecológicas (Tabla 3).

2.2 CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN LAS VARIETADES DE CAÑA

Las características agronómicas e industriales más destacadas que deben reunir las variedades de caña para panela se pueden clasificar en: características básicas y características secundarias.

TABLA 3. Variedades para producción de panela y/o miel para las diferentes regiones agroecológicas.

Variedad	Producción potencial de panela, t/ha		Región geográfica y unidad agro-ecológica
	Min.	Max.	
RD 75-11 PR 61-632 POJ 28-78	20,3 14,2 11,5	24,1 17,5 15,4	Hoya del Río Suárez y Chicamocha (Me-Mf) - Corte por parejo
My 54-65 RD 75-11 POJ 28-78	17,3 18,5 9,8	19,7 20,6 13,7	Cundinamarca y Norte de Santander (Mf-Mg) - Corte por entresaque.
RD 75-11 PR 11-41	19,8 19,4	23,7 22,5	Antioquia (Me- Mf- Mg) Corte por parejo.
SP701284 My 54-65 MZC 74-275 PR 62-66 RD 75-11	20,2 18,4 19,4 21,2 20,1	23,3 20,4 22,6 23,7 24,3	Llanos Orientales y Cimitarra Santander (Cg- Cj) - Corte por parejo.

Fuente: Programa de procesos Agroindustriales. CORPOICA-E.E. CIMPA. 2000.

2.2.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

Son aquellos caracteres distintivos que se consideran fundamentales en la caracterización de un material genético. Es deseable lo siguiente:

- Alto rendimiento, sin decrecer la producción por lo menos hasta el quinto corte.
- Resistencia a plagas y enfermedades de importancia económica para el sistema.
- Amplio rango de adaptación a diferentes ecologías.
- Jugos con alto contenido de sacarosa, fáciles de clarificar y que den panela de buena calidad.
- Alto porcentaje de extracción de jugos en el molino.

2.2.2 CARACTERÍSTICAS SECUNDARIAS COMPLEMENTARIAS

Son aquellos caracteres, no relevantes pero complementarios y que generalmente están supeditados a los caracteres básicos. Son importantes, pues aportan información de una variedad determinada y bajo ciertas condiciones de expresión se pueden convertir en una característica básica de selección o caracterización. Dentro de las características secundarias es conveniente tener en cuenta:

tados a los caracteres básicos. Son importantes, pues aportan información de una variedad determinada y bajo ciertas condiciones de expresión se pueden convertir en una característica básica de selección o caracterización. Dentro de las características secundarias es conveniente tener en cuenta:

- Resistencia al volcamiento.
- Baja o nula floración.
- Resistencia a sequías.
- Recuperación después del corte, alce manual y transporte en mulas.
- Baja inversión de sacarosa después del corte.

La Tabla 4 presenta algunas de las características más importantes de las variedades de caña de mayor potencial agroecológico actualmente cultivadas en Colombia.



TABLA 4. Principales características de las variedades de caña de mayor potencial agroecológico.

Variedad	POJ2878	PR 61-632	PR 1141	RD 75-11	CC 84-75	CC 86-45	CC 85-47	CC 85-23	CC 87-505
Deshoje natural	Parcial	Regular	Parcial	Difícil	Bueno	Regular	Bueno	Bueno	Muy Bueno
Volcamiento de tallos	Resistente	Resistente	Si (60%)	Si (55%)	Si (20%)	< 30%	Si (30%)	No presenta	Si (90%)
Floración	Baja-Nula	Escasa-Nula	No presenta	Si (13%)	No presenta	Leve < 10%	SI (5%)	No presenta	No presenta
Rajadura de corteza	No presenta	Frecuente	No presenta	Si (5%)	Si (2%)	No presenta	No presenta	No presenta	Si (15%)
Presencia de lalas	No presenta	No presenta	No presenta	Algunas	No presenta	No presenta	No presenta	No presenta	Si (13%)
Contenido de pelusa	Abundante	No presenta	No presenta	Ausente-poca	Poca -Rala	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Altura promedio planta, m	2,62	2,69	3,18	3,77	3,30	3,30	3,63	3,00	3,40
Altura promedio corte, m	2,14	2,21	2,66	3,12	2,94	2,95	3,25	2,64	3,10
Diámetro de tallo, cm	2,30	2,90	2,90	2,93	3,10	2,50	3,41	2,80	3,20
Longitud entrenudos, cm	9,70	9,10	10,5	10,02	7,30	10,0	11,20	9,20	7,60
Índice de crecimiento, cm/mes	13,1	13,45	15,9	18,33	17,9	17,9	19,70	15,20	18,50
Entrenudos/mes, #.	1,4	1,45	1,5	2,0	2,40	1,83	1,80	1,60	2,40
Tallos molibiles, #.	79167	108333	79167	118120	161332	144012	103548	138832	104221
Producción de caña, t/ha	88,4	145,7	100,2	193,5	229,8	171,7	180,7	132,5	145,0
Peso tallo molible, kg	1,12	1,34	1,27	1,64	-	-	-	-	-
Producción de semilla, t/ha	10,78	18,21	11,52	25,50	31,10	24,04	19,15	15,24	16,68
Producción cogollo, t/ha	14,59	26,95	14,73	51,03	37,92	36,06	31,80	19,21	19,58
Producción de biomasa, t/ha	113,77	190,86	126,45	270,03	-	-	-	-	-
Producción de panela, t/ha	8,9	16,46	11,42	24,19	28,4	20,4	21,1	15,90	18,63
Producción de cachaza, t/ha	2,24	5,10	4,01	7,50	9,20	6,87	7,23	5,96	6,53
Bagazo verde, t/ha	44,7	55,1	43,01	77,4	101,1	77,5	81,3	59,4	65,3
Brix jugo, °B	19,8	20,3	21	21,4	22,4	20,6	19,9	21,4	22,8
pH jugo	5,38	5,38	5,45	5,46	5,26	5,58	5,24	5,24	5,08
Azúcares reductores, %	1,1	1,3	0,9	1,1	0,51	0,59	0,83	0,62	1,35
Pol (Sacarosa), %	18,3	18,9	19,9	20,1	20,8	19,5	18,2	20,1	21,3
Pureza, %	92,4	93,1	94,7	93,9	92,9	94,7	91,5	93,9	93,4
Fósforo, ppm	209	243	380	84	155	172	182	172	168

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA- C.I. Tibaitatá, 2006.

3.

SUELOS: NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA PANELA

La caña panelera se cultiva en una amplia gama de texturas y geomorfología de suelos, pH, propiedades físicas y condiciones ambientales; el conocer estas condiciones y tratar de aproximarse a un conocimiento de suelos, requerimientos nutritivos y fertilización del cultivo de caña, es el propósito de este capítulo.

3.1 TEXTURA DE SUELOS EN ZONAS PRODUCTORAS DE CAÑA

Cada elemento que forma el suelo tiene una función específica, por ello, para que un suelo produzca bien debe tener arena, limo, arcilla, materia orgánica y microorganismos en dosis justas. La calidad del suelo depende de la cantidad y agregación de sus partículas minerales. La textura del suelo depende de la proporción de tres tipos básicos de partículas minerales: arena, limo y arcilla, ellas son el resultado de la desintegración de las rocas por la variación de la temperatura y por la acción del agua, de los vientos, de microorganismos y raíces.

La textura es la proporción de partículas minerales (arcilla, limo y arena) que contiene un suelo. La arcilla corresponde a las partículas más finas de tamaño menor a 0,002 mm, el limo a partículas intermedias con tamaño entre 0,002 y 0,02 mm y la arena a partículas más gruesas, con diámetros mayores a 0,02 mm.

3.1.1 SUELOS FRANCO Y FRANCO – ARCILLOSOS

Se habla de suelos francos cuando tienen una proporción similar de los tres tamaños de partículas. Los suelos francos y los franco-arcillosos son los más adecuados para el cultivo de la caña. En condiciones geomorfológicas aluviales y coluvio

aluviales con buenos drenajes, generan excelentes rendimientos físicos y buena calidad de panela.

3.1.2 SUELOS FRANCO – ARENOSOS

Los suelos franco-arenosos tienen mayor contenido de limo y arena; son suelos fáciles de cultivar, cuyos rendimientos en caña dependen en alto grado de la fertilización. El bajo costo y facilidad de laboreo compensan las inversiones que se hagan en fertilizantes.

3.1.3 SUELOS ARCILLOSOS, ARCILLO-LIMOSOS Y FRANCO-ARCILLO-LIMOSOS

En suelos planos y/o cóncavos, el drenaje natural puede ser muy deficiente, perdiéndose mucha semilla en épocas de alta lluviosidad o muchas cepas cuando se cosecha caña en períodos de fuerte invierno.

Suelos con horizontes superficiales arcillosos, con acumulación suficiente de materia orgánica y buenos drenajes, producen abundantes cosechas en los primeros cortes; pero, al compactarse con el tiempo, disminuyen la aireación y se producen encharcamientos, provocando muerte de cepas y perjudicando las plantaciones.

Un suelo arcilloso es pesado, de difícil manejo y trae como consecuencia una menor duración de las socas, un mayor costo de adecuación de los lotes y una mayor predisposición a la presencia de enfermedades en las raíces del cultivo.

3.2 ESTRUCTURA DEL SUELO

La estructura del suelo corresponde a la forma como se agregan las partículas del suelo y se distribuyen los poros. Las estructuras esponjosas con



buena porosidad permiten buena aireación, el intercambio de agua y nutrientes y la penetración de las raíces; por el contrario, estructuras muy compactas impiden un adecuado crecimiento de las plantas. Unida a la textura, esta característica es importante para la agricultura porque determina: mayor o menor facilidad en el trabajo de la tierra (arar, rastrillar, etc.), la resistencia del suelo, la erosión, la capacidad de infiltración del agua, las condiciones de desarrollo de las raíces, la temperatura del suelo, la actividad de los organismos (bacterias, hongos, lombrices, etc.), la circulación del aire y del agua y muchas otras cualidades.

Lo que hace la diferencia es como el agua queda retenida entre los terrones de arena, arcilla y materia orgánica que dan la estructura al suelo (Figura 7). Un suelo con buena estructura facilita el desarrollo del cultivo pues el agua y el aire penetran muy bien. No lo arrastran fácilmente ni la lluvia ni el viento y las raíces de las plantas se desarrollan en buenas condiciones.

3.3 EL PH DE LOS SUELOS Y SU RELACIÓN CON EL CULTIVO

La caña para panela presenta las mejores condiciones cuando se cultiva en suelos con un pH que varíe entre 5,5 y 7,5. Existen suelos para caña pa-

nelera, cuyo pH varía de 5,6 a 6,5 (ligeramente ácidos), donde se adaptan fácilmente las variedades traídas de la zona azúcarera del Valle del Cauca. En Antioquia y Santander, es frecuente encontrar suelos extremadamente ácidos (pH de 4,1 a 5,5). En caña panelera no se presentan mayores por salinidad; sin embargo, pH mayores que 7,2 pueden afectar el crecimiento y la concentración de sacarosa en la caña.

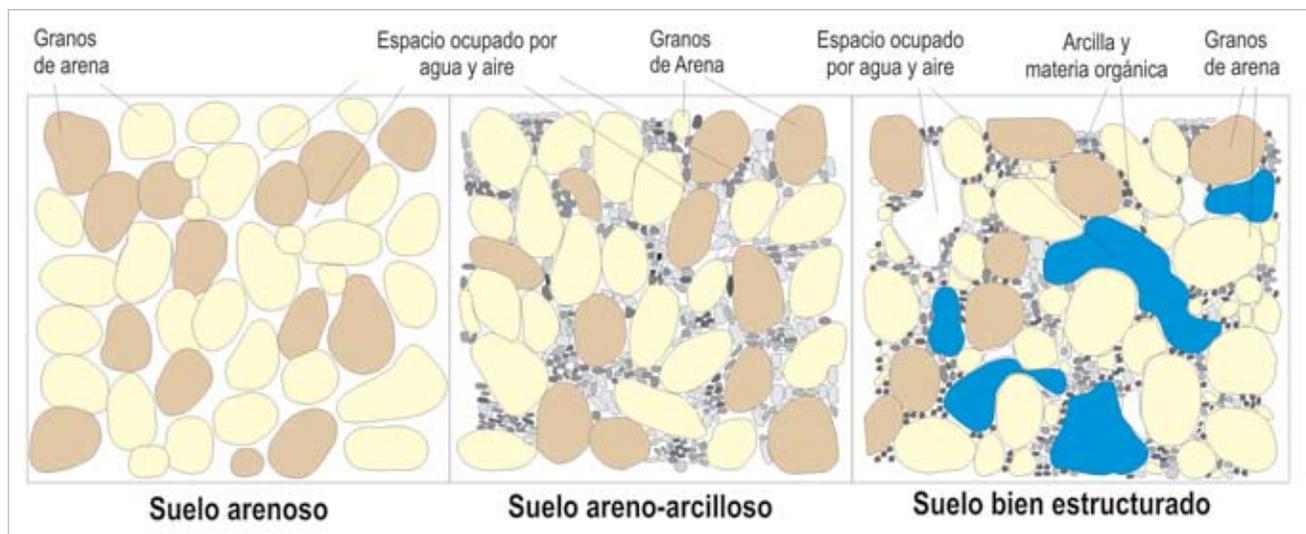
3.4 GEOMORFOLOGÍA DE LOS SUELOS EN CULTIVOS DE CAÑA PANELERA

La caña para panela se cultiva con óptimos rendimientos en las hondonadas y partes planas bien drenadas. En las cuchillas o lomas (suelos problemas residuales) el crecimiento de la caña es menor, pero la concentración de sacarosa es mayor. La geomorfología de los suelos en cultivos de caña panelera se divide en: Suelos Estructurales – Coluviales, Suelo Erosionales – Coluviales, Suelos Coluvio – Erosionales, Suelos Coluviales, Suelos Coluvio – Aluviales y Suelos Aluviales.

3.4.1 SUELOS ESTRUCTURALES - COLUVIALES

Estos suelos se presentan donde hay acumulación de material coluvial sobre la pendiente es-

FIGURA 7. Estructura de los suelos.



Fuente: Tomado de: Guía Rural “Manual de la Tierra”. www.agro.misiones.gov.ar.

tructural. Su posición típica se halla en laderas bajas donde los cambios de pendiente facilitan la coluviación. Son suelos ligeramente inclinados, con pendientes entre el 7 – 12%. El cultivo de caña en este tipo de suelos tiene la limitante de la profundidad del perfil.

3.4.2 SUELOS EROSIONALES - COLUIVALES

Se localizan donde predominan procesos denudativos; pero hay procesos importantes de acumulación en sitios altos ubicados inmediatamente debajo de las cuchillas erosionales donde se inicia la coluviación. También en sitios quebrados a fuertemente ondulados con pendientes entre 25 y 40%. El cultivo de caña en esta unidad, con buena fertilización, permite obtener hasta tres cortes. La heterogeneidad de los lotes implica que se debe aplicar mayor fertilización en las partes erosionales y disminuir en las coluviales. Esta unidad de suelos tiene mayor vocación cafetera.

3.4.3 SUELOS COLUVIO - EROSIONALES

Se localizan en áreas donde predomina la acumulación de materiales, pero que sufren procesos denudativos importantes. Son áreas intermedias entre las unidades erosionales coluviales donde se encuentran los coluvios carpos de las laderas, moderadamente ondulados a manera de lomas (relieve convexo o cóncavo), con pendientes entre 12 y 25%.

3.4.4 SUELOS COLUIVALES

Se originan por la acumulación de materiales causada por el escurrimiento superficial o movimientos en masa. Son característicos del pie de laderas contiguas a los ríos principales, laderas aproximadamente uniformes con longitud variada, ligeramente inclinadas con pendientes del 5 a 12%. Esta unidad de suelos y la anterior son los suelos de típica vocación cañera. En ellos se produce la panela de mejor calidad.

3.4.5 SUELOS COLUVIO - ALUIVALES

Estos suelos se forman en aquellas acumulaciones de materiales ocurridos por procesos coluviales y,

además, por transporte de corrientes de agua, al pie de laderas con pendiente suave y longitud variada.

3.4.6 SUELOS ALUIVALES

Corresponden a aportes recientes de tipo lateral y longitudinal hechos por corrientes que forman cauces principales. Se ubican en la posición más bajas de las depresiones, entre colinas y/o montañas. Presentan relieve casi plano de 0 a 3 %. En estas unidades la fertilidad del suelo para caña es muy buena. Con buenos drenajes se pueden obtener hasta 10 cortes; sin embargo, la sacarosa es menor y la cristalización de la panela, sin aplicaciones de potasio que ayuden a aumentar la sacarosa, es muy deficiente.

3.5 NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN

3.5.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO EN REGIONES PANELERAS

Generalmente se observan deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio en casi todas las regiones cañeras; así como también, de calcio, magnesio, azufre, zinc, boro, cobre, molibdeno y sílice. Los suelos de ladera en Colombia, se caracterizan por presentar moderada a baja fertilidad natural; por lo cual requieren planear acciones adecuadas de fertilización con N, P₂O₅ y K₂O como nutrimentos básicos, para un normal desarrollo del cultivo.

3.5.2 NUTRIENTES EXTRAÍDOS POR LA CAÑA

La cantidad de nutrientes extraídos por la caña, varía según la variedad cultivada, el estado de fertilidad del suelo y la edad de corte (Tabla 5).

3.5.3 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Se recomienda, hacer análisis de suelos para detectar las necesidades nutricionales y basados en las calificaciones de las diferentes características químicas del suelo (alto, medio y bajo), dosificar de acuerdo con los rangos establecidos (Tabla 6 y Tabla 7). Las recomendaciones están dadas con base en el análisis de diferentes suelos de zonas



TABLA 5. Nutrientes extraídos por la caña y sus requerimientos de fertilización.

Producción	Extracción de Nutrientes				
	N (kg)	P ₂ O ₅ (kg)	K ₂ O (kg)	CaO (kg)	MgO (kg)
50 t/molienda ¹	34	23	68	-	-
50 t/ha de caña de la variedad POJ 2714 ²	126 -165	78 - 94	233 - 276	173 - 181	139 - 168
1 t de caña ³	1,2 - 1,4	0,5 - 0,9	5	1,6	1,2
1 t azúcar ³	5,9 - 10,4	3,7	16	16,8	-

¹Barnes. ²Detroit. ³Ramos - Samuels.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA-E.E. CIMPA. 2000.

TABLA 6. Requerimientos de fertilización en kg/ha según la fertilidad natural del suelo.

Fertilidad natural del suelo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Alto	0 - 50	0 - 50	0 - 75
Medio	50 - 100	50 - 80	75 - 100
Bajo	100 - 150	80 - 150	100 - 150

Los rangos establecidos varían de acuerdo con la variedad de caña y con la geomorfología del suelo.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E. E. CIMPA. 2005.

TABLA 7. Caracterización de suelos para el manejo y fertilización en caña panelera.

Características del suelo	Rangos	Calificación	Dosis (kg/ha)	Fuente
pH	6,0 - 7,0	Excelente	-	Cal dolomítica, Fosforita Huila, y/o cálfos.
	5,0 - 6,0	Bueno	-	
	4,5 - 5,0	Regular	1.000 a 3.000	
	Menor a 4,5 o Mayor a 7,2	Inadecuado	-	
Materia orgánica (%)	Mayor a 5	Alto	0 - 50	Urea, Fosfato de amonio, Compost, humus, gallinaza, porquinaza.
	3 - 5	Medio	50 - 100	
	Menor a 3	Bajo	100 - 150	
Fósforo (ppm)	Mayor a 10	Alto	0 - 50	Rocas fosfóricas, cálfos, fertilizantes compuestos y simples.
	5 - 10	Medio	50 - 80	
	Menor a 5	Bajo	80 - 150	
Potasio (meq/100 g)	Mayor a 0,6	Alto	0 - 75	Fertilizantes simples y compuestos, cenizas, nitrato de potasio.
	0,3 - 0,6	Medio	75 - 100	
	Menor a 0,3	Bajo	100 - 150	
Calcio (meq/100g)	Mayor a 3,0	Alto	-	Cal dolomítica, Fosforita Huila y/o cálfos.
	1,5 - 3,0	Medio	1.000	
	Menor a 1,5	Bajo	1.000 a 3.000	
Magnesio (meq/100g)	Mayor a 1,5	Alto	-	Cal dolomítica, Fosforita Huila y/o cálfos.
	0,5 - 1,5	Medio	1.000 a 3.000	
	Menor a 0,5	Bajo	3.000 ó más	

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E. E. CIMPA. 2005.

paneleras del país. En Nitrógeno (N) se probaron dosis de 0 hasta 150 kg/ha, en Fósforo (P) de 0 a 200 kg/ha y en potasio (K), entre 0 y 200 kg/ha.

3.5.4 FERTILIZACIÓN QUÍMICO - MINERAL

Investigaciones sobre fertilización en suelos de Antioquia (municipios de Cocorná, Barbosa y Amagá), cultivados en caña panelera, encontraron que las dosis con las cuáles se pueden obtener altos rendimientos varían entre 50 y 75 kg/ha de P_2O_5 .

En relación con fuentes y fraccionamiento de nitrógeno, se obtuvieron resultados que permiten establecer que la urea, el sulfato de amonio y el nitrón 26, pueden ser utilizados para fertilizar caña, en dosis que oscilan entre 75 a 150 kg/ha de nitrógeno.

En cuanto a fuentes de fósforo, se puede indicar que la caña panelera necesita recibirlo en la siembra y en la soca subsiguiente. La fuente más indicada parece ser el superfosfato triple, seguida en eficiencia por las Escorias Thomas. La roca fosfórica de origen colombiano, mejora sensiblemente su eficiencia en el segundo corte en relación con el corte de plantilla, a tal punto que en este corte una dosis de 150 kg/ha de P_2O_5 utilizando como fuente la roca fosfórica, es tan eficiente como 75 a 150 kg/ha de P_2O_5 aplicados como Escorias Thomas.

Creps, citado por Vélez y Lotero, efectuó una serie de ensayos de aplicación de fertilizantes líquidos a la caña de azúcar. Los resultados obtenidos demuestran la acción eficaz del nitrógeno absorbido por las hojas; el incremento fue de 30 t/ha de caña. En las socas no produjeron efecto ni el ácido fosfórico ni el de potasio aplicado en forma foliar, debido posiblemente a un desequilibrio en el nitrógeno. Con mezclas de fosfatos monoamónicos y aplicados para acelerar la madurez 24 días antes del corte, se logra un aumento de rendimiento de 2%.

Vélez y Lotero, concluyeron que la mejor aplicación para fertilización de caña de azúcar en la zona de Frontino (Antioquia) parece ser de 200 kg/ha de nitrógeno, 100 de P_2O_5 y 150 de K_2O .

En la Hoya del Río Suárez, se encontró que la caña intercalada con maíz y fríjol responde en forma positiva a las aplicaciones de nitrógeno, fósfo-

ro y potasio; sin embargo, los resultados económicos son bajos y para algunos modelos, negativos. El tratamiento recomendado para la zona de 150 – 100 – 30 de NPK, respectivamente, presenta una rentabilidad de 1,90%; en tanto que el mejor tratamiento con base en el análisis gráfico y de promedios 100-100-30 es de 5,53%. En monocultivo de caña, los tratamientos 100-200-100 y 100-100-50 de NPK, presentan rentabilidades similares de 3,85% y 3,67%, respectivamente; mientras que el tratamiento recomendado para la zona de 150-100-30 muestra una rentabilidad de 2,33%.

3.5.5 FERTILIZACIÓN MINERAL-ORGÁNICA EN CAÑA PANELERA

Un suelo fértil debe producir cosechas remuneradoras en forma sostenible, con pequeñas aportaciones de fertilizantes e, incluso, en los casos de aporte nulo se pueden conseguir rendimientos del 60% de los óptimos. Ocurre también que en estos suelos cuando se reducen las dosis fertilizantes en un 10 o 20% por debajo de las óptimas, apenas si se manifiesta alguna consecuencia en los rendimientos. No obstante no todos los suelos llegan a presentar estas características.

Al referirse a la demanda de nutrientes, hay que tener en cuenta que los requerimientos varían ampliamente según los cultivos y los sistemas de cultivo. Tanto para sistemas intensivos como extensivos, las cantidades de N, P_2O_5 y K_2O , difícilmente pueden obtenerse a partir de un suelo de fertilidad natural.

Pese a que la materia orgánica juega un papel decisivo en el mantenimiento de su capacidad productiva y no se puede prescindir de aquella confinando todos los aspectos de la fertilidad del suelo a los fertilizantes minerales, si no se complementa el suministro de nutrientes que en forma natural hace el suelo, con algún aporte de abonos minerales, las cosechas irán reduciéndose progresivamente.

Por otra parte, también se critica el uso impropio de fertilizantes de síntesis, por los riesgos de contaminación y por ser una práctica poco sostenible. El problema es que no solo basta con el uso eficiente de los fertilizantes minerales, no sólo de nitrógeno, fósforo y potasio vive la planta. Para



que crezca saludable, es también indispensable la materia orgánica, importante para la aireación, el drenaje y la vida del suelo. De acuerdo a lo anterior, es posible asegurar que para cultivos intensivos se pueden conseguir rendimientos favorables a partir de fertilizantes minerales con un adecuado soporte orgánico.

La materia orgánica se encuentra en la naturaleza bajo muchas formas: restos vegetales, estiércol y otros residuos animales (Tabla 8). Como consecuencia de la actividad biológica (macro y microbiana) que se desarrolla en el suelo, la materia orgánica fresca se descompone y, en una primera etapa de evolución rápida, se transforma en *humus*. En una segunda etapa de evolución lenta, el humus desaparece al convertirse en compuestos minerales, CO₂, y agua.

En cuanto a su composición, los elementos nutritivos que los residuos orgánicos pueden aportar al suelo, son variados; dependen de la naturaleza de los residuos (provenientes de la actividad agroindustrial, agropecuaria, frigorífica, láctea, cerealera, aceitera y residuos sólidos urbanos), el estado de descomposición (grado de mineralización) y el tratamiento que hayan recibido (compostaje, abono verde, lombri-compostaje, secado, troceado y molido, reforzamiento mineral, fermentación anaerobia en biodigestores).

Los estiércoles tienen un alto contenido de nitrógeno y una cantidad considerable de humus producto de la degradación en el aparato digestivo de los animales. Usar el estiércol como acondicionador de suelos es la práctica más común y es una fuente barata y puede ser agregado al suelo de varias formas: fresco, mezclado con restos vegetales o lo que es mejor mezclado y fermentado. La ca-

lidad del estiércol depende del tipo de animal, de su edad y alimentación. Cuanto más concentrado, mejor para el cultivo.

Existen diversas formas de colocar el estiércol en las plantaciones, causando un efecto diferente en el ambiente:

- Fresco (Sin preparar). Consume el nitrógeno del suelo, perjudica plantas nuevas, no mejora el suelo inmediatamente y tarda tiempo en ser asimilado.
- Curado secado al sol. El estiércol proveniente del establo es raspado por cuchilla o mediante paleo manual, se conforman montones y el secado se da al aire libre. Los animales viven en condiciones poco higiénicas y sus cascos se debilitan. Demora de 6 a 12 meses para estar listo y pierde grandes cantidades de nitrógeno (hasta el 50%), por volatilización y lixiviación.
- Curado en pozo estercolero. Se trata de un método costoso. El estiércol acostumbra a estar mal curado y puede presentar problemas en el sistema de bombeo requerido para su irrigación en el campo. Una falla en el funcionamiento de la laguna puede generar problemas de olor.
- Curado mezclado con restos vegetales. Este es el compost. Puede presentar los mismos problemas que el estiércol fresco si el material está crudo o no está bien curado.

En la caña durante el desarrollo del cultivo, la cantidad de hoja de caña debida al deshoje, que queda como cobertura del suelo, tiene un papel importante como abono verde pues impide la germinación de malas hierbas, protege al suelo de la erosión, sirve de aislante manteniendo la tem-

TABLA 8. Tipos de materia orgánica en el suelo.

Tiempo de descomposición	Constituyentes
Hasta 3 años	Paja, madera, tallos, papel, lignina
< ½ año	Hojas, cortezas, flores, frutos, abono animal (estiércol).
Hasta 1 ½ años	Cuerpos de macro y microorganismos y sus metabolitos.
Hasta 2 ½ años	Compost maduro.

Fuente: TOSCANO, Adriana. Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá.

peratura del suelo y la humedad. Además es una fuente importante de materia orgánica, que posteriormente se transformará en humus (se estima que el aporte puede llegar a ser de 600 kg/ha de humus)¹.

Sin embargo, el tiempo que tarda en degradarse la hoja de caña puede llegar a ser de seis meses, durante este periodo, los microorganismos usan el nitrógeno del suelo para degradar los residuos y rastrojos de la cosecha, lo cual puede generar deficiencias de nitrógeno en la planta. Con el objetivo de evitar estos inconvenientes, resulta conveniente compostar estos residuos, de modo que el abono orgánico esté listo para su aplicación de 30-45 días. Esta técnica para el tratamiento de residuos, será ampliamente discutida más adelante para el caso de las unidades productivas finca-trapiche.

Otro tipo de abono que se puede emplear son los biosólidos, nombre que se da al abono que sale de los biodigestores, instalación generalmente subterránea para producción de gas y de fertilizante orgánico obtenido a partir de fermentación del estiércol y residuos vegetales. El biosólido es un líquido espeso, casi negro. La gran ventaja de ese abono es que la mayoría de los nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) inicialmente presentes en el material a fermentar se mantienen. El peso total del abono es cerca de 30% del material crudo.

Es importante tener en cuenta que los abonos orgánicos, no sustituyen la fertilización química y que este sistema no arroja resultados inmedia-

tos (pueden pasar años antes de observar incrementos en los rendimientos), mas aún si la fertilización química ha sido una práctica tradicional, como es el caso de las grandes zonas productoras de panela.

En trabajos exploratorios realizados en la HRS, para suelos con bajos contenidos de materia orgánica, fósforo y en potasio, y con contenidos de aluminio entre 2,0 y 5,0 meq/100 g, se aplicó materia orgánica al cuarto y quinto corte en dosis de 3 t/ha, complementando con cálfos y fosforita Huila (1 t/ha y ½ t/ha respectivamente). Además, se realizó una segunda aplicación de cloruro de potasio y úrea (Tabla 9). Al pasar del tercer corte al cuarto y quinto, se aplicaron 3 t/ha de MO a un suelo residual o de ladera. En el cuarto ciclo se notaron cambios de 80 a 160 t/ha y de 110 a 155 t/ha, con dosis constantes de P₂O₅ (100 kg/ha), y con cantidades cambiantes de nitrógeno y potasio 45 a 100 de nitrógeno y 30 a 60 kg/ha de potasio.

3.5.6 DOSIS Y SISTEMAS DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES

Antes de iniciar cualquier plan de fertilización es recomendable hacer un análisis de suelos, con el propósito de ajustar una recomendación adecuada a las necesidades del cultivo *in situ*. De acuerdo con estudios realizados por el Programa de Recursos Biofísicos de CORPOICA, se dan las siguientes recomendaciones:

TABLA 9. Rendimiento de caña, efecto de la fertilización orgánica y química.

Tratamiento	Rendimiento de caña por corte (t/ha)		
	Tercero	Cuarto*	Quinto*
45 kg/ha de N + 30 kg/ha de K ₂ O	80	160	150
100 kg/ha de N + 60 kg/ha de K ₂ O	110	155	150

(*). Para el cuarto y quinto corte se hizo una aplicación de estiércol de 3 t/ha.

El P₂O₅ se aplicó una sola vez en dosis de 100 kg/ha

Fuente: Manual de caña de azúcar para la producción de panela. CORPOICA, 2000.

1 TOSCANO, L. Adriana. I.Q. Programa de procesos agroindustriales. CORPOICA - C.I. Tibaitatá, 2005.



- En suelos con bajos contenidos de materia orgánica (<3%), fósforo (<10 ppm) y potasio (<0,3 meq/100 g), se recomienda aplicar 75 a 125 kg/ha de nitrógeno, 100 a 175 kg/ha de P_2O_5 y 125 a 150 kg/ha de K_2O .
- En suelos con contenidos medios de materia orgánica (3-5%), fósforo (10-20 ppm, Bray II) y potasio (0,3 a 0,6 meq/100g), se aconseja aplicar 50 a 100 kg/ha de nitrógeno, 75 a 150 kg/ha de P_2O_5 y 50 a 100 kg/ha de K_2O .
- En suelos con contenido alto de materia orgánica (>5%), fósforo (>20 ppm) y K (>0,6 meq/100 g), aplicar 0 a 75 kg/ha de nitrógeno, 0 a 75 kg/ha de P_2O_5 y 0 a 75 kg/ha de K_2O .
- En suelos de ladera, la dosis del fertilizante se puede aplicar al momento de la siembra y en el fondo del surco. En socas, el fertilizante se aplica en banda sobre la parte superior de las cepas, una vez se haya efectuado el encalle y cepillado de las mismas; o previamente, se puede realizar un rayado con bueyes o tractor en la parte superior del surco, para luego incorporar el fertilizante y taparlo con el segundo pase (Figura 8).
- En suelos con pH inferior a 5,5 se debe aplicar Escorias Thomas como fuente de P_2O_5 y cuando la relación Ca/Mg sea superior a 3, se debe aplicar cal dolomítica para evitar la defoliación prematura por deficiencia de Mg. Estos correctivos localizados al fondo del surco, permiten evitar su aplicación en altas cantidades.
- Cuando haya deficiencia de azufre y magnesio, se debe aplicar entre 50 y 100 kg/ha de $MgSO_4$ al momento de la siembra o inmediatamente después del corte.

FIGURA 8. Aplicación de fertilizantes en caña panelera.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA
Foto: Produmedios, 2000.

4.

PLAGAS Y ENFERMEDADES DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA PANELA

Las plagas y las enfermedades, por su frecuencia e intensidad de ataques, se constituyen en enemigos potenciales de importancia económica, que afectan la producción y productividad del cultivo debido al daño que provocan. En zonas de ladera, el barrenador de los tallos, la hormiga loca y el carbón de la caña, se han constituido en problemas fitosanitarios de importancia relevante.

4.1 EL BARRENADOR DEL TALLO

Se clasifica dentro de las especies del género *Diatrea*, así: *Diatrea saccharalis* (Fabricus); *Diatrea busquella* Dyar y Helinrich; *Diatrea rosa*; Lepidoptera: Pyralidae.

4.1.1 DAÑO CAUSADO E IMPORTANCIA ECONÓMICA

El daño se puede evidenciar de tres maneras: corazones muertos, daño en la semilla y perforaciones en los tallos. En el primero, se lesionan y destruyen los puntos de crecimiento, reduciendo

el número de tallos/ha y produciendo atraso de las plantillas hasta de 6 meses de edad de la caña. El daño en la semilla asexual, se da al perforar y destruir las yemas. En los tallos, provoca perforaciones circulares en los nudos o entrenudos, desde los seis meses de edad del cultivo hasta el corte, con reducción sensible en el contenido de sacarosa, aumento en la cantidad de fibra e inversión de azúcares. Además, facilita la presencia de otros insectos como *Metamasius* y *Rhyncophorus*, o de enfermedades como *Physalospora tucumanensis*, el hongo de la “podrición roja” o “muermo rojo” (Figura 9).

4.1.2 MANEJO Y CONTROL DE LA PLAGA

□ Control Físico

Las trampas de luz facilitan la captura de insectos adultos y con lo cual se disminuye la población en momentos críticos. El clima regula su distribución geográfica e incidencia en el desarrollo de

FIGURA 9. Barrenador de la caña y perforaciones en tallos provocadas por *Diatraea sp.*



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – Foto: Produmedios, 2000.

la plaga y la mayor población coincide con épocas secas de intenso verano. La plaga se puede multiplicar durante todo el año, permitiendo de 6 a 9 generaciones.

❑ Control Cultural

Se realiza mediante el uso de semilla sana, destrucción de hierbas hospederas y de residuos de cosecha y con labores agrícolas adecuadas.

❑ Control Biológico

Es uno de los métodos más antiguos y exitosos; el manejo de la plaga se afronta mediante la cría sistemática de parasitoides nativos o importados, de huevos y larvas, y mediante la recolección de larvas en cogollos muertos. Para el control de *Diatrea Saccharalis* F. en las áreas paneleras se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

La recolección manual de larvas en “corazones muertos”, y la liberación de parasitoides de huevos: *Trichogramma sp*, en cañas de 1 a 4 meses de edad, distribuyendo 20 a 40 pulgadas/ha en tres fechas, con intervalos de un mes y una distancia no menor de 30 m entre sitios. Otro parasitoide importante para el control de *Diatrea* es el *Teleonomus sp*.

En cañas entre 6 y 12 meses de edad, liberar parasitoides específicos de larvas como *Paratheresia claripalpis* Wulp, en dosis de 10 a 15 parejas/ha y del Hymenoptero *Apanteles flavipes* Cameron, 1 gramo de cocones/ha. Dentro de este manejo integrado del insecto se debe velar por la conservación de especies nativas, tales como *Jayneleskia jaynessi* parasitoide natural de larvas de *Diatraea sp*.

4.1.3 TRAMPA LUZ PARA CAPTURA DE ADULTOS DEL BARRENADOR DEL TALLO *Diatrea sp*.

Consiste en un dispositivo que emplea la energía radiante y se basa en la respuesta que tienen los insectos a la acción de la luz. Está equipada con una lámpara fluorescente BL lineal, de 15 W, montada sobre un embudo que conduce a una cámara recolectora (un envase de vidrio o de hojalata). Sobre el embudo, se ubican cuatro aletas en lámina gal-

vanizada calibre 20, que miden 62 cm de largo y 18,5 cm. de ancho; estas aletas se distribuyen de tal manera que la lámpara quede expuesta a la vista en todas las direcciones. En la cámara recolectora se coloca un agente destructor que puede ser algodón impregnado de xilol, el cual se cubre con yeso. A la trampa se le aplica pintura anticorrosiva y luego pintura blanca (Figura 10).

La trampa se cuelga de tal forma, que la lámpara esté a 1,50 m, sobre el suelo y; debe colocarse en un área abierta y cerca al cultivo de caña.

4.2 COMPLEJO SIMBIÓTICO CON LA HORMIGA LOCA

La hormiga loca *Paratrechina fulva* Mayr, se ha constituido en problema fitosanitario en varios ecosistemas de Colombia y su reporte se hizo ha-

FIGURA 10. Trampa luz para captura de adultos de *Diatraea sp*.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – C.I. Tibaitatá, 2006.

ce más de 30 años. En el valle del Cauca existe desde 1985 y se ha constituido en un problema fitosanitario en cultivos de caña de azúcar, cacao, ornamentales y ganadería, entre otros. En la Hoya del Río Suárez y más específicamente en la región del municipio de San Benito, la hormiga loca se reportó en 1989 y paulatinamente ha venido colonizando áreas que están destinadas a potreros y cultivos de caña para panela con un impacto económico significativo en la producción regional.

4.2.1 DAÑO E IMPORTANCIA ECONÓMICA

Los daños que la hormiga loca provoca en los cultivos los hace de manera indirecta. El daño primario en cultivos de caña para panela en la Hoya del Río Suárez lo realizan los insectos chupadores, con quienes establece la simbiosis, como es el caso de la escama verde (*Pulvinaria sp.*), pulgón gris (*Melanaphys sacchari*) y chinche harinosa (*Saccharicoccus sacchari*). Su importancia, radica en el impacto negativo que provoca en otras especies de hormigas e insectos en áreas colonizadas y en los daños directos en crías de mamíferos y/o vertebrados; además, produce molestias en los operarios de campo, sobre todo, cuando estos presentan heridas en sus cuerpos.

4.2.2 MANEJO INTEGRADO DE LA HORMIGA LOCA

4.2.2.1 Control físico

Debe ir orientado a disminuir las condiciones propicias para la colonización de nuevas áreas por parte de la hormiga, para lo cual es importante acatar las siguientes recomendaciones: Remoción de basuras y desechos de cortes de árboles y arbustos, y tener cuidado con el almacenamiento y transporte de insumos y productos agrícolas de un lugar endémico a una región sana.

4.2.2.2 Control químico

Se realiza mediante el empleo de cebos tóxicos, en las dosis adecuadas para control de poblaciones críticas en los momentos de mayor prevalencia. Los cebos ejercen una acción inhibitoria

sobre la población de hormigas; sin embargo, es conveniente utilizarlos racionalmente con el fin de evitar efectos nocivos contra la fauna silvestre (terrestre o acuática) de la región. Los cebos deben aplicarse en forma regular y continúa en todas las áreas ocupadas por la hormiga loca. Para una hectárea de terreno, se puede aplicar 17 kg de cebo, preparado de la siguiente manera: 3 kg de harina de pescado, 9 kg de bagacillo fino, 5 litros de agua y 150 cm³ de Fipronil (Regent 200 SC). Para su preparación, primero mezcle bien la harina de pescado con el bagacillo y en un recipiente aparte, los 150 cm³ de Fipronil con los 5 litros de agua; finalmente, la solución insecticida se revuelve con la mezcla sólida y queda listo el cebo para su aplicación (Ramos P., A. A y Bastidas, A. Enero 2006).

4.3 CARBÓN DE LA CAÑA (*Ustilago scitaminea* Sydow)

La enfermedad es causada por el hongo *U. scitaminea* Sydow, perteneciente a la familia de las Ustilagináceas. Presente en el Valle del Zulia y Codazzi desde 1979; en el Valle del Cauca desde 1981 y; en la hoya del río Suárez desde 1987. El carbón de la caña puede reducir significativamente los rendimientos y las pérdidas en socas son mayores (hasta el 70%), en relación con las producidas en las plantillas (hasta el 29%). En los tallos afectados por carbón se aumentan los azúcares reductores y disminuye la concentración de sacarosa; por lo tanto la calidad de la panela disminuye y en algunos casos no solidifica.

Las plantas afectadas presentan elongación de los entrenudos y los tallos desarrollan una estructura característica similar a la de un látigo en la parte terminal; las hojas toman una posición semierecta; sin embargo, también se puede apreciar la formación de “lalas” con posterior desarrollo del látigo, al cual se le conoce como síntoma secundario (Figura 11).

Además de la producción de látigos, puede ocurrir la formación de brotes herbáceos, constituidos por la presencia de 25 ó más brotes por cepa infectada, sin ninguna porción molible y en ocasiones sin formaciones de látigos.



FIGURA 11. Síntoma de la enfermedad del carbón.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E.E. CIMPA, 2000. Fotos: Produmedios

En Colombia la enfermedad se ha presentado con mayor severidad en las variedades: B 49119, CP 57603, CP 5973, NCO 310, CP 65357, Phil 5333, H371933; Co 740, PR 1117, H 507209, HJ 5741, MZC 74275, Co 419 y Co421.

La mejor forma de controlar la afección se logra mediante el uso de variedades resistentes como PR61632, PR1141, PR671070, POJ28-78, RD75-11, CC 84-75, CC 85-47, CC 86-45, CC 85-57 y

CC 85-92, considerados los materiales locales en zonas paneleras de mejor comportamiento.

De igual manera, es importante estimular entre los productores de caña el establecimiento de semilleros con material sano y la semilla debe tratarse con agua caliente o fría con triadimefón, triadimenol o CGA64250 (Tilt) (250 – 500 ppm), durante un mínimo de 5 minutos. La semilla así tratada tiene una protección hasta de seis meses.

5.

PROCESAMIENTO DE LA CAÑA PARA LA PRODUCCIÓN DE PANELA

En Colombia, la ausencia de un esquema de desarrollo para los procesos, fundamentados en principios sostenibles, hace que los modelos tradicionales de producción en diversas áreas, sigan siendo parte de nuestra cultura, influyendo en la forma de explotación y uso intensivo de los recursos naturales.

La tendencia hacia el consumo de productos biológicos para alcanzar una agricultura orgánica libre de residuos químicos, buscando niveles adecuados de producción para no ver afectada la competitividad de los agricultores, evidencia la necesidad de implementar prácticas no contaminantes en los diferentes procesos productivos. En el caso de la caña para la producción de panela, la *producción más limpia* está orientada a la implementación de *buenas prácticas agrícolas*, *buenas prácticas de manufactura*, el uso sostenible de los recursos y el reconocimiento por parte del productor de los principios de gestión empresarial como elementos básicos para participar en los mercados de manera competitiva.

En esa línea, en el proceso de producción de panela, se ha venido trabajando en la adopción de *buenas prácticas*, que van desde las operaciones de extracción, acondicionamiento y disposición de la materia prima, pasando por las operaciones de transformación, hasta la obtención del producto final. Todas ellas con el objeto de incrementar la eficiencia del proceso, mejorar la calidad del producto y reducir los riesgos al ser humano y al medio ambiente.

La Figura 12 presenta el mapa de proceso para la producción de panela. En el se observan todos los flujos de materia y energía del sistema y las

operaciones de extracción, acondicionamiento y transformación de la materia prima, desde el corte de la caña hasta la obtención de panela.

La Figura 13 presenta el diagrama de flujo de la producción de mieles, panela granulada y bloque.

5.1 ASPECTOS GENERALES DEL TRAPICHE

El trapiche panelero es la planta de proceso para la producción de panela o miel. Comprende las instalaciones donde se ubican los equipos necesarios para realizar las operaciones que permiten transformar la caña en panela. En la Figura 14 se muestra la vista de distribución de un trapiche panelero, según diseño desarrollado por Corpoica.

El trapiche constituye el eje central de la Unidad Productiva Finca Trapiche (UPFT), pues de forma complementaria a la producción de panela, en esta se desarrollan actividades de explotación agropecuaria, que también generan productos de valor. De acuerdo con la normatividad vigente, aplicable a la agroindustria panelera, se tienen las siguientes recomendaciones para el establecimiento del trapiche panelero².

5.1.1 LOCALIZACIÓN Y ACCESOS

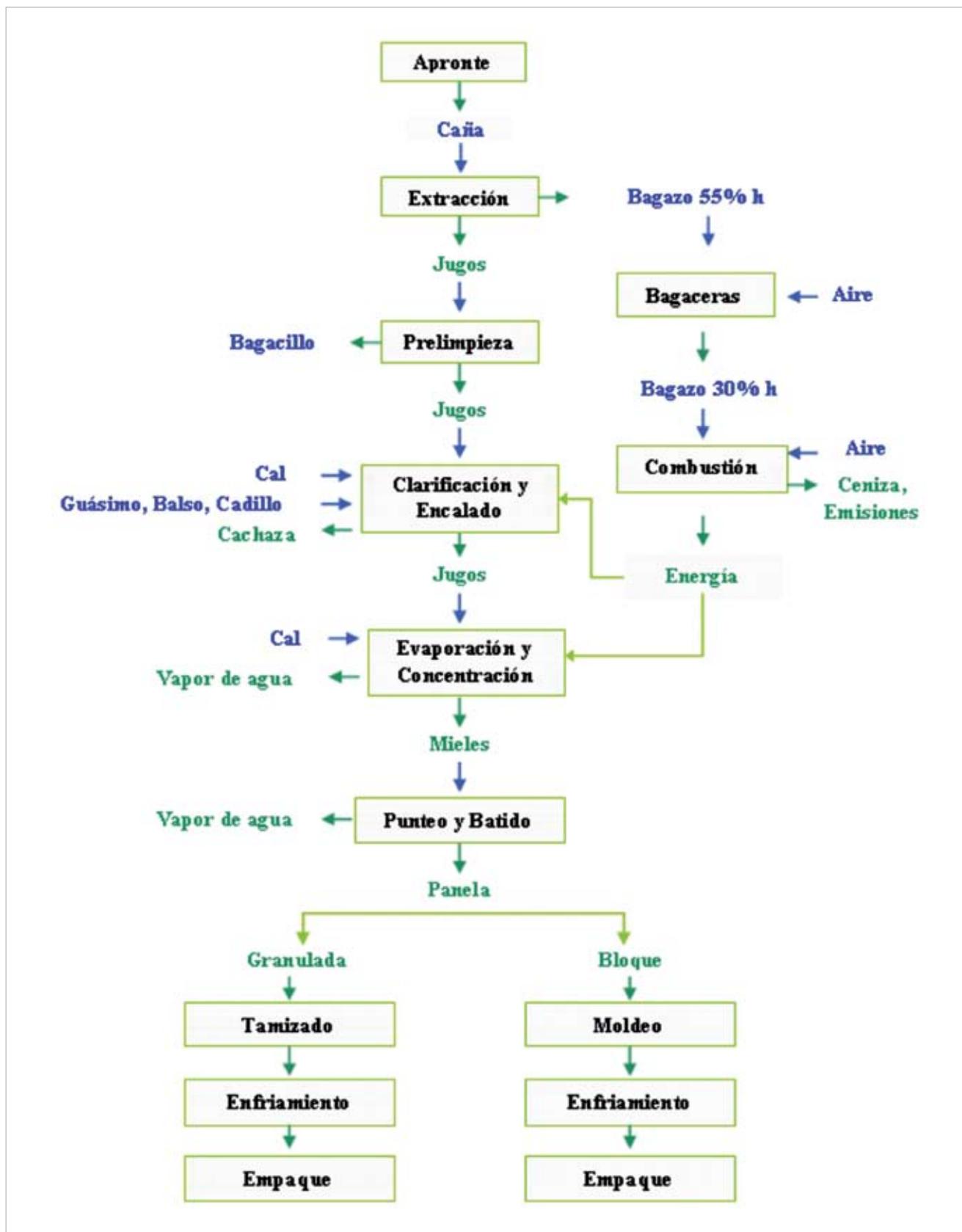
Al ubicar el trapiche panelero se deben tener en cuenta diversos factores tales como:

- Equidistancia a los cultivos de caña. El trapiche se debe ubicar en el punto más central posible de la finca para reducir costos de transporte de

2 Bohórquez J. y García H. Resumen, adaptación y complementación de normas y recomendaciones.

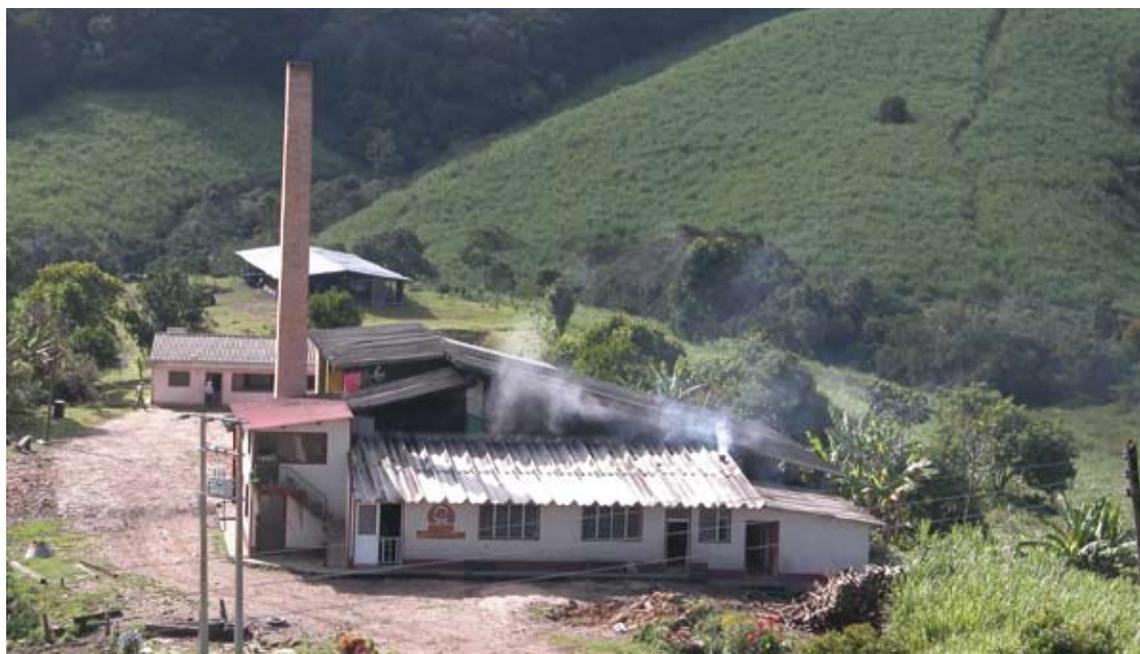


FIGURA 13. Diagrama de flujo del proceso tecnológico de producción de panela.



Fuente: Programa de procesos agroindustriales. CORPOICA - C.I. Tibaitatá. 2006.

FIGURA 14. Trapiche panelero de la Hoya del río Suárez.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá 2006.

la caña. Se debe tener en cuenta que la conversión de panela es aproximadamente del 10% del peso de la caña y por eso es preferible la cercanía del trapiche a los lotes de caña.

- Facilidad de acceso a vías y caminos para disminuir los costos del transporte de la caña y panela. La ubicación sobre carreteables en buen estado aumenta su competitividad para recibir cañas de otras fincas, con lo cual se pueden recibir ingresos por el alquiler de los equipos o molindas en maquila.
- Escoger un terreno con una topografía adecuada, cercano a líneas de transmisión de energía eléctrica y de acueductos y que no presente posibilidades de fallas geológicas.
- Evitar los focos de insalubridad que presenten riesgos potenciales para la contaminación de la panela, como construir instalaciones destinadas a la explotación pecuaria, muy cerca o al lado del trapiche, el cual es uno de los errores más comunes. Se recomienda que las instalaciones pecuarias se ubiquen a un mínimo de 50 m de los trapiches³, para evitar la contaminación cruzada y anidamiento de plagas. Esto evita el riesgo potencial de los microorganismos que afectan la salud humana, que pueden estar en los excrementos animales y ser conducidos a la panela por el viento, vectores como moscas o roedores), y/o utensilios contaminados.
- Conservar una distancia prudente a zonas habitadas, para evitar que el funcionamiento del trapiche afecte la salud y/o bienestar de la comunidad. Entre los riesgos mas significativos se encuentran: el ruido producido por los motores de combustión interna; problemas con el funcionamiento de los electrodomésticos en el arranque de motores eléctricos; las dioxinas y furanos producidos por la quema de llantas que pueden adherirse a las plantas (alterando su proceso de fotosíntesis) o diluirse en el agua ingerida por las personas o animales, causando daños a la salud.
- Los alrededores y accesos deben permanecer limpios, libres de basuras, residuos sólidos y objetos en desuso. Por tanto se deben eliminar las aguas estancadas, realizar un adecuado control de malezas y; mantener en buen estado las vías de acceso y caminos de apronte de la caña.

3 Normas internacionales – Gobierno España.

5.1.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

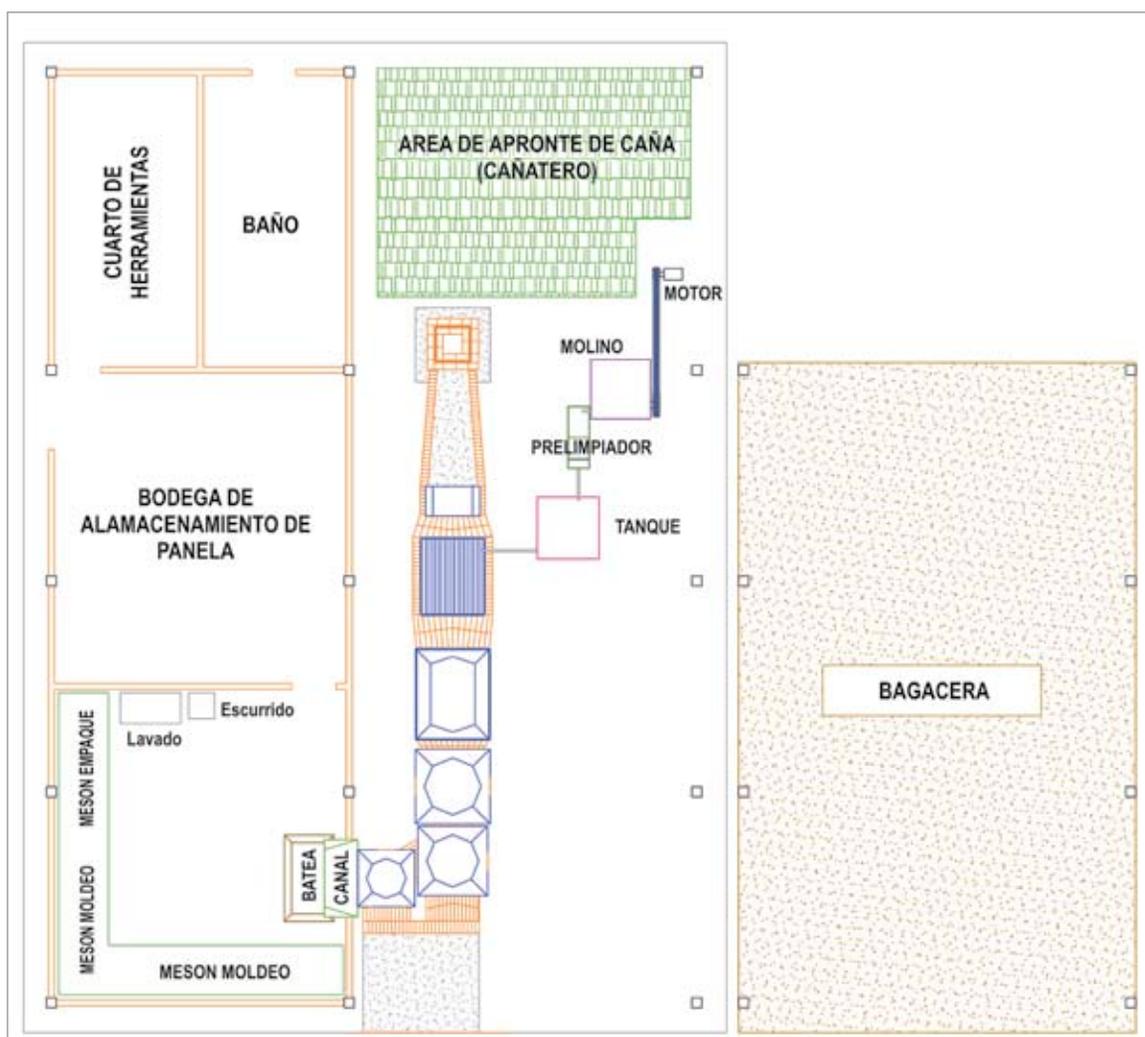
El trapiche panelero se encuentra generalmente dentro de una estructura conocida como enramada o entable. Es posible encontrar diseños de bajo costo, donde la estructura consta de una cubierta (usualmente en teja de zinc) que esta sujeta a vigas de amarre (de adobe o madera) y piso en tierra.

Actualmente, se recomiendan diseños que pese a demandar mayor inversión, atienden los requerimientos de una planta productora de alimentos. La cubierta cuenta con cambios de nivel y caballetes para permitir la salida del vapor (generado durante el proceso de elaboración de panela) y pendientes adecuadas hacia los recolectores de aguas lluvias, los cuales a su vez, es-

tan conectados a bajantes verticales que envían el agua hacia el sistema de drenaje o tanque de almacenamiento. Tradicionalmente el material utilizado para las canales y bajantes domésticos de aguas pluviales es el hierro, pero se recomienda utilizar tuberías de PVC, debido a su facilidad de instalación y limpieza, bajos costos de mantenimiento y poca contaminación. La estructura posee muros y piso en cemento.

Dentro del trapiche panelero se tienen las siguientes áreas de trabajo: a) Área de apronte de caña, b) Área de procesamiento, c) Área de elaboración, d) Área para el almacenamiento de panela, e) Área para el secado y almacenamiento del bagazo y f) Instalaciones sanitarias (Figura 15).

FIGURA 15. Distribución en planta de un trapiche panelero.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA- C.I. Tibaitatá, 2006.

5.2 EXTRACCION DE LA MATERIA PRIMA

Todo proceso inicia con la extracción de las materias primas, en este caso las operaciones que tienen lugar son: corte, alce y transporte de caña hasta su disposición en planta.

5.2.1 CORTE

En la producción de panela el corte se hace bajo dos modalidades: parejo y por desguíe o entresaque. El primero se hace en las regiones técnicamente más avanzadas y permite obtener unos jugos de mayor homogeneidad en su concentración de azúcar y mayores rendimientos en la operación del corte y por tanto menores costos de producción. En el entresaque se cosechan las cañas aparentemente maduras, pero la decisión de la madurez es más subjetiva y la concentración de azúcar es más dispereja entre tallos. Además al cortar los tallos entre las cepas se pueden causar daños a los tallos restantes, los cuales también se afectan con el transporte de la caña y definitivamente los costos operacionales son mayores.

Para garantizar una panela de excelente calidad la caña debe cortarse en el momento óptimo de madurez. La edad de corte y las condiciones físicas en que se desarrolla el cultivo cumplen una función fundamental en su maduración, así como la variedad de caña cultivada. Las cañas cortadas inmaduras o sobremaduras afectan la calidad y el rendimiento de la panela.

La edad de corte está influida, además de la variedad, por la altura sobre el nivel del mar, que define la temperatura del lugar: a más baja altura, la temperatura se eleva y el período vegetativo se reduce; por su parte, al aumentar la altura, baja la temperatura, y se alarga el período vegetativo. Se ha establecido que de 0 a 600 m.s.n.m., la caña madura entre 10 y 12 meses; de 600 a 1.200 m.s.n.m. madura entre 12 y 15 meses, y de 1.200 a 1.600 m.s.n.m., alcanza su maduración entre 14 y 18 meses.

5.2.1.1 Madurez de la caña

La madurez de la caña se logra cuando la concentración de los azúcares es similar en la base y

en la parte terminal del tallo. Si se desea producir panela de buena calidad se deben seleccionar cañas maduras, con alto contenido de sacarosa. Pero si se desea producir miel se recomienda emplear cañas inmaduras o sobremaduras, con alto contenido de azúcares reductores, para disminuir su cristalización.

Los agricultores usan métodos empíricos para conocer la madurez y determinar el momento del corte de la caña, cuando no se está presionado por los factores económicos. Los métodos técnicos para determinar el punto de madurez se basan en la uniformidad de la concentración de los sólidos solubles (expresada en grados Brix, °B), a lo largo del tallo de la caña o mediante la determinación del contenido de humedad en ciertos puntos específicos del tallo, a través de mediciones periódicas. Técnicamente, el índice de madurez se determina a través de dos procedimientos: el primero, conociendo la edad de corte para cada variedad mediante curvas de sacarosa a diferentes semanas de desarrollo del cultivo, y el segundo, mediante el índice de madurez.

□ Determinación del índice de madurez mediante el refractómetro

El índice de madurez se puede medir con facilidad en el campo a través de un refractómetro; equipo que mide la concentración de sólidos solubles en una gota de jugo de caña.

En el lote que se va a cortar, se escoge una muestra representativa de aproximadamente 15 a 20 tallos de caña por hectárea. Se saca un poco de jugo del séptimo u octavo entrenudo, contando hacia abajo desde la última hoja abierta y se pone en el refractómetro. El brix medido se llama A. De la misma forma, se mide la concentración de sólidos solubles en el segundo o tercer entrenudo, a partir del suelo, de cada tallo. Este valor se denomina B. Luego se divide el resultado de la suma de A entre el resultado de la suma de B y con este valor buscar el estado de madurez de la caña de acuerdo a la Tabla 10.

Debido al alto costo del refractómetro no siempre es posible realizar la medida de la concentración con este equipo. En su reemplazo se puede usar un densímetro aforado con escala en grados Brix o sacarímetro. En la Figura 16 se muestra un refractómetro de laboratorio, uno de campo y el sacarímetro.

TABLA 10. Estado de madurez de la caña de acuerdo al índice de madurez.

Estado de madurez de la caña	Valor de A/B
Entre 0,95 y 1,0	caña madura
> 1,0	caña sobremadura
< 0,95	caña inmadura

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. Mejoramiento en la calidad de miel y panela. CORPOICA – E.E. CIMPA 2002.

❑ **Uso del sacarímetro para calcular el índice de madurez.**

Se toma una muestra representativa de 15-20 tallos por hectárea de caña libres de hojas. Luego se cortan los tercios superior e inferior de los tallos formando dos grupos que se muelen por separado. En un recipiente se recoge el jugo previamente pasado por un colador.

Con el jugo obtenido del tercio superior de la caña se llena una probeta o un recipiente plástico transparente y se introduce el sacarímetro teniendo cuidado que flote en el jugo, éste se deja

suspendido en la vasija hasta que no se mueva y se lee en la escala del sacarímetro el número que marca donde llega el jugo. Este dato es A. Se hace lo mismo con el jugo obtenido de los trozos de la parte inferior del tallo, para obtener la lectura B. Luego se divide A en B y se establece el estado de madurez de acuerdo a la Tabla 10.

5.2.2 ALCE Y TRANSPORTE

Las operaciones de alce y transporte de la caña tienen lugar en el cultivo, donde se disponen de cargueros y animales de tiro para el transporte manual de la caña, ya sea hasta el trapiche o a borde del camino, donde se carga la caña en vehículos para su transporte al trapiche (Figura 17).

5.3 RECEPCIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA CAÑA

5.3.1 AREA PARA EL APRONTE DE CAÑA

En algunas regiones recibe el nombre de cañatero. El apronte de caña se realiza para almacenar un volumen de caña suficiente en el trapiche con el fin de lograr una operación continua (día

FIGURA 16. Refractómetro de laboratorio, refractómetro de campo y sacarímetro.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales., Mejoramiento en la calidad de miel y panela. CORPOICA - E.E. CIMPA 2002.

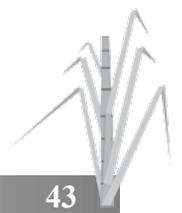


FIGURA 17. Alce y transporte de caña.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá. 2006.

y noche, en algunas regiones) y porque en otras el personal del corte alce y transporte de la caña (CAT) es el mismo que realiza el proceso de producción de la panela.

Se recomienda que esta área se encuentre cubierta y con piso en cemento, ya que el barro que puede adherirse a la caña en cañateros de piso en tierra, contribuye al deterioro de la calidad de la panela y a la inseguridad industrial de los operarios que alimentan el molino (Figura 18).

Las dimensiones del cañatero se calculan de acuerdo con la cantidad de caña a almacenar durante la molienda. Aproximadamente una tonelada de caña ocupa un volumen de 2 m³ o sea un área de 1m², en pilas de 2m de altura. El cañatero debe estar en la parte más alta del trapiche y debe tener una ligera inclinación hacia el molino para facilitar el transporte de la caña.

En esta área, tienen lugar las operaciones de pesaje (recepción) y almacenamiento de la caña.

5.3.2 PESAJE DE LA CAÑA

El pesaje de caña es una operación fundamental para realizar la caracterización técnica de un trapiche, con el objeto de establecer: el rendimiento del cultivo por lote (en t/ha de caña), estimar la producción (en t/año de caña y t/año de panela), la capacidad (en kg/hora de caña molida), la extracción del molino (en kg de jugo por kg de caña), el rendimiento (en kg panela por kg de caña), el bagazo verde (en kg) y la eficiencia del horno.

En trapiches donde la actividad productiva se desarrolla a nivel empresarial, el control y monitoreo de la eficiencia y rendimiento del trapiche, se puede realizar con básculas de plataforma con

FIGURA 18. Área para el apronte de caña.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá 2006.

capacidad hasta de 600 kg para pesar la caña descargada de las mulas o hasta de hasta 10 toneladas para vehículos (Figura 19).

5.3.3 ALMACENAMIENTO DE CAÑA

La caña se almacena para tener suficiente materia prima para la molienda nocturna y para tener continuidad en el proceso. Así mismo, porque en la mayor parte de los trapiches los obreros de corte y alce son los mismos que hacen la molienda. La caña debe almacenarse a la sombra para evitar que el sol deshidrate el tallo y acelere el desdoblamiento de la sacarosa, pues esto redundaría en disminución de la producción de panela y de su calidad. Se ha establecido que las pérdidas de sacarosa se incrementan en forma exponencial con el transcurrir del tiempo y que las pérdidas de panela en los primeros 5 días, se incrementan en 1% por día. La sacarosa con el paso del tiempo de apronte se desdobra en azúcares reductores o invertidos y la calidad de la panela en cuanto color, textura y estructura, se reduce. Así mismo, la producción de agua y energía se traduce en pérdida de rendimiento del producto final. Por esta razón el tiempo de almacenamiento máximo recomendado es de cinco días, ya que los jugos de caña almacenada por más tiempo es difícil de limpiar y la panela será melcochuda o de mal grano. Cuando la caña se destina a panela y se encuentra madura o sobremadura no se debe almacenar por más de tres días⁴. Cuando

se produce miel, si la caña se almacena por más de cinco días, la miel se oscurece demasiado. Así mismo, cuando la caña se encuentra ligeramente inmadura, durante el apronte pierde algo de agua y por tanto se concentra el nivel de los sólidos del jugo y el efecto sobre la calidad de la panela no es tan nocivo.

En el trapiche la caña se debe acomodar de tal forma que se pueda moler en el mismo orden en que se va cortando, para disminuir la inversión de la sacarosa.

5.4 OBTENCIÓN DE MIELES PARA PANELA

Una vez se lleva a cabo la extracción de los jugos se inicia la etapa de procesamiento, donde se realizan las operaciones de acondicionamiento y transformación de la materia prima hasta la obtención de mieles para la elaboración de panela. Estas son:

- Molienda o extracción de jugos.
- Prelimpieza de jugos.
- Clarificación y encalado de jugos.
- Concentración de mieles.

5.4.1 EXTRACCIÓN DE JUGOS

El proceso de extracción, es la primera operación del proceso que tiene lugar, con la molienda de la caña para la obtención de jugos. También se obtie-

FIGURA 19. Báscula de suelo para el pesaje de caña.



Pesaje de mulas

Carro sobre plataforma de pesaje

Visor de pesaje

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá 2006.

4 García Hugo. Pérdidas de sacarosa en el proceso de elaboración de panela. Revista ICA. 1978



ne un residuo sólido denominado “bagazo verde” y su humedad depende del grado de extracción del molino, fluctuando entre 50 y 60%.

Existen dos métodos para sacar el jugo de la caña: a) difusión (tecnología aplicada y tomada de la producción azucarera a partir de remolacha) y b) compresión. Tanto en la industria azucarera como panelera, el único método empleado en Colombia, es el de compresión, sistema muy antiguo y cuyas maquinas se basan en el principio de trituración de rocas.

En la industria panelera se lleva a cabo un proceso de *extracción seca*, mediante molinos de tres rodillos o mazas, bajo una configuración triangular. La extracción seca consiste en extraer los jugos en el pase por uno o dos molinos sin añadir agua al bagazo, lo cual es conocido como embebición. 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 en la hornilla como combustible.

5.4.1.1 Molinos

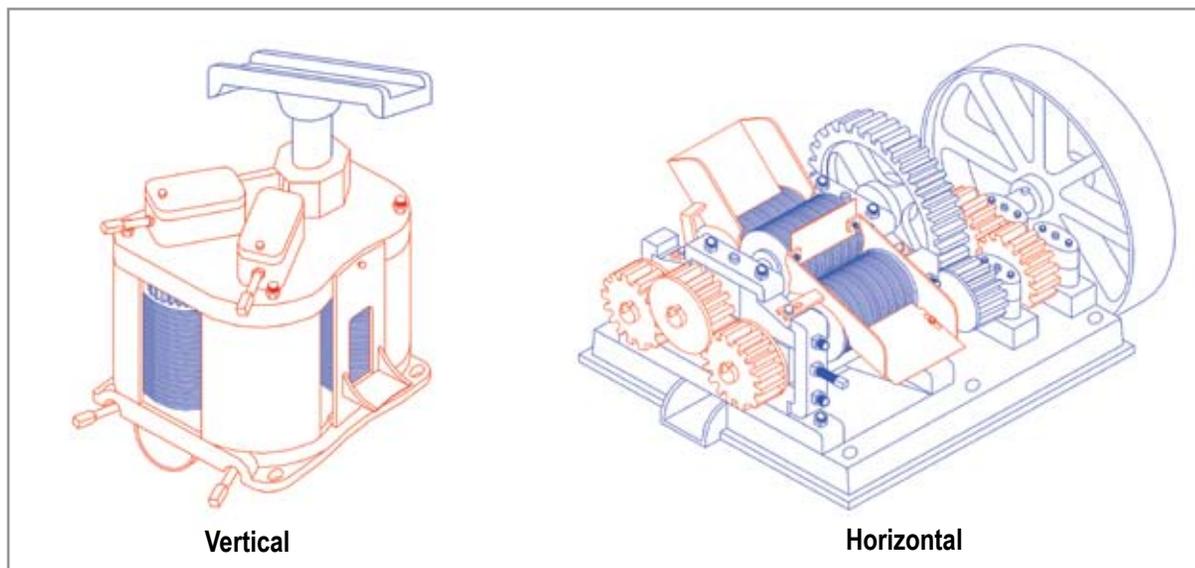
Los primeros molinos tenían rodillos de madera o de piedra, pero a finales del siglo XIX se comenzaron a importar molinos de hierro. Posteriormente, hacia la primera mitad del siglo XX, algunas empresas metalúrgicas nacionales, comenzaron a fa-

bricar modelos colombianos. En este momento se deben producir entre 250 y 400 molinos por año que satisfacen plenamente el mercado nacional, a unos precios acordes con su calidad y compiten bien en los mercados internacionales, sobre todo con los productores brasileños, enviando sus equipos a los mercados centro y sur americanos y en algunas especiales ocasiones al África y Australia.

En Colombia se estima que existen unos 18.000 trapiches. Una tercera parte de ellos tiene molinos accionados por animales, equinos principalmente, aunque en algunas regiones y en otros países se utilizan también bueyes (Figura 20). Estos molinos, se caracterizan porque sus rodillos se encuentran en posición vertical y son de muy baja capacidad de molienda. Estos equipos se encuentran principalmente en trapiches ubicados en regiones de colonización, donde se usan para producir panela en muy bajas cantidades, para comunidades pequeñas, basadas en un mercado reducido, en el bajo costo del equipo y en que no requieren combustibles a base de petróleo. Así mismo se usan en regiones de microfundio, muy atrasadas económica y tecnológicamente, donde la gente produce la panela como una actividad de subsistencia, empleando mano de obra familiar y bajo unas condiciones de rentabilidad mínima.

Cada vez el número de trapiches, que emplean molinos verticales, se ha venido reduciendo por-

FIGURA 20. Molinos: Vertical de tracción animal y horizontal de tracción mecánica



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, C.I. Tibaitatá 2006.

que los productores buscan mayor eficiencia en el proceso y un retorno de la inversión de sus recursos, lo cual no es posible con estos equipos.

Los molinos horizontales, como su nombre lo indica, tienen sus mazas colocadas horizontalmente, en distribución triangular y en la industria panelera la mayor parte son de 3 mazas y unos pocos de 5 mazas. Cimpa desarrolló un diseño con dos molinos en serie para reducir las pérdidas de jugo durante la extracción. Tienen como fuente de potencia los motores de combustión interna, diesel principalmente, los motores eléctricos y en muy pocos casos las ruedas hidráulicas.

❑ Selección de molinos comerciales

La selección de los molinos comerciales se hace (como para todos los equipos del trapiche), teniendo en cuenta la capacidad de la planta, la cual está directamente relacionada con la producción de caña de la finca y de la programación de molien- das en términos de mano de obra disponible, cos- tumbres regionales y disponibilidad de capital de trabajo y de inversión. Seleccionar un molino comercial es definir un modelo de molino de acuerdo con su capacidad de molienda, en kilogramos de caña por hora. Los factores a tener en cuenta para determinar la capacidad de un molino son:

- Área sembrada en caña, ha
- Rendimiento por unidad de área, t/ha

- Periodo vegetativo, meses
- Sólidos solubles del jugo, °B
- Sólidos solubles de la panela, °B
- Extracción en peso esperada, kg jugo/t caña
- Cachaza producida por la caña, %
- Horas de trabajo por día de molienda, día
- Tiempo real de trabajo (%)

Las anteriores variables se deben relacionar con las variables básicas de diseño y desempeño del molino, como son la capacidad de molienda, la extracción en peso y el consumo de potencia.

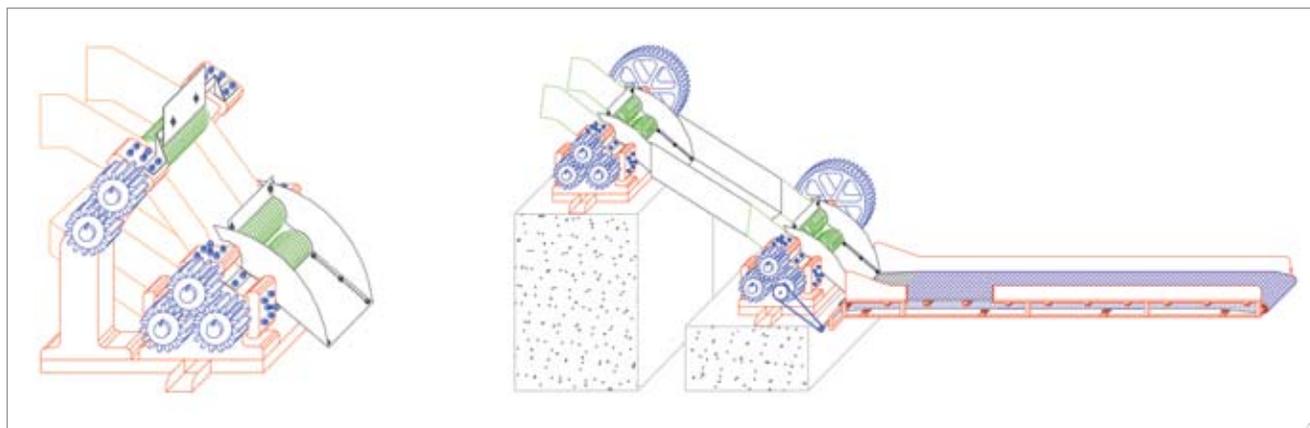
❑ Capacidad de molienda

Se define como la cantidad de caña que se puede moler en un tiempo determinado y se expresa en kilogramos o toneladas por hora (kg/h o t/h). La *capacidad de molienda* es función de: la superficie de la finca cultivada en caña, rendimiento agronómico, periodo vegetativo del cultivo, frecuencia de la molienda, duración diaria y semanal de la molienda.

Existen dos formas para expresar la *capacidad* de un molino: *nominal* y *real*. La primera cuantifica la caña molida en un tiempo determinado, en el cual el molino trabaja de manera continua y bajo condiciones ideales. Esta es la capacidad que aparece en los catálogos de los fabricantes.

En los molinos de tracción animal, de acuerdo con la especie usada (buey o caballo) y su estado físico, la *capacidad real* varía entre 100 y 150

FIGURA 21. Molino horizontal de cinco mazas y dos molinos colocados en serie.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, C.I. Tibaitatá 2006.

kg/h cuando se utiliza un sólo animal y entre 150 y 200 kg/h al emplear dos animales. En los molinos de tracción mecánica la *capacidad nominal* varía entre 200 y 4.570 kg/h, de acuerdo con las dimensiones de las mazas, que son las que determinan el tamaño del molino

La *capacidad real* de los molinos siempre es inferior a la *capacidad nominal*, puesto que la cantidad de caña molida se reduce por los siguientes factores: limpieza deficiente, forma y diámetro de la caña; pericia y capacidad de trabajo de los operarios; potencia y estado mecánico del motor; selección adecuada y estado de la correa y; tiempo empleado en el mantenimiento de los equipos y en la alimentación de los operarios. En evaluaciones realizadas en trapiches de diferentes zonas paneleras de Colombia se ha encontrado que la *capacidad real* de los molinos varía entre el 40 y 90% de la *capacidad nominal*, y se considera que un porcentaje de 70% es un valor medio y adecuado.

□ Extracción en peso

La forma más común de expresar la cantidad de jugo recuperado es la “*Extracción en Peso*” (E_p), concepto que relaciona la cantidad en kilogramos del jugo recuperado en el molino (P_j) con respecto al peso de la caña (P_c) molida y se expresa como kg de jugo por 100 kg de caña:

$$E_p = \frac{P_j}{P_c} * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Este parámetro es fácil de determinar si se dispone de una balanza, pero solo es un indicativo muy impreciso porque una caña inmadura o con mucho agua podría mostrar mayores eficiencias en extracción que una caña bien sazónada o madura. Si la caña cumple las anteriores condiciones, se puede considerar que 60 kg de jugo por cada 100 kg de caña, es un buen rendimiento para un molino de 3 mazas. Con dos molinos de tres mazas, colocados en serie se puede llegar hasta 70 kg por cada 100 kg de caña.

Si se considera una caña de composición promedio de 15 kg de azúcar, 15 kg de fibra y 70 kg de agua, por cada 100 kg de caña, una E_p de 60 kg de jugo sería igual a una *Extracción de jugo* de 60/85 o sea del 70,59%. En este caso se podría afirmar que las pérdidas de jugo serían del 29,41%. Y para el caso de los dos molinos en serie una E_p de 70 kg de jugo, se establecería que la *Extracción de jugo* sería de 70/85, o sea del 82,35% y las pérdidas de jugo serían del 17,65%

□ Consumo de potencia

Establece la potencia necesaria para accionar el molino. Normalmente se expresa en caballos de fuerza [hp] y técnicamente en kilovatios [kW]. De acuerdo con la *capacidad* del molino y el nivel de extracción la potencia del motor puede estimarse en 8 kW por cada tonelada de caña por hora, para una *extracción en peso* de 60 kg de jugo por cada 100 kg de caña⁵.

Normalmente en los trapiches se emplean motores de combustión interna, diesel principalmente y la mayor parte de marca Lister (Figura 22). Actualmente se están comenzando a utilizar motores eléctricos por su bajo costo; no obstante, su principal limitante es la disponibilidad de energía eléctrica trifásica en las zonas paneleras y la intermitencia del servicio, pues se presentan fallas continuas, a veces durante tiempos prolongados, lo cual perjudica la operación de la molienda. Desde el punto de vista ambiental los motores eléctricos causan menor contaminación auditiva y de la atmósfera del trapiche, que los motores de combustión interna que utilizan diesel o gasolina como combustible.

Para escoger el motor se deben tener en cuenta diversas variables tanto del molino (capacidad, extracción, velocidad de las mazas y relación de transmisión, entre otras) como del motor (potencia nominal, velocidad a plena carga, sobrecarga soportada, facilidad de adquisición, disponibilidad de repuestos y servicios, precio y costos de operación y capacidad instalada de la energía disponible).

5 García H., Abarca A., y Moreno F. Establecimiento de los parámetros que determinan el comportamiento de los molinos paneleros. Revista ICA. 1977.

FIGURA 22. Motores diesel y eléctrico empleados para accionar molinos paneleros.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA –Tibaitatá 2006.

❑ **Instalación y funcionamiento del molino**

En la instalación del molino, se debe tener en cuenta que la salida del jugo debe quedar en un nivel superior al de las pailas de evaporación, para asegurar la conducción de los jugos por gravedad. En el montaje se debe tener en cuenta que el guardamanos quede a un metro del piso, para facilitar la alimentación del equipo por una persona de estatura media (1,60 a 1,70).

El principal riesgo asociado a esta operación (en cuanto a inocuidad de la panela), es la contaminación de los jugos con el aceite lubricante, pues sus residuos pueden inducir el desarrollo de enfermedades como el cáncer en los consumidores. Para evitar esto, las chumaceras y piñones deben protegerse con carcazas y la dosificación del lubricante se debe hacer racionalmente, para evitar excesos indeseables que contaminen la panela. Gracias al desarrollo tecnológico inducido por el CIMPA entre los fabricantes de equipos de molienda, actualmente existen en el mercado molinos con sistemas cerrados de lubricación, los cuales son muy aconsejables en un programa de producción de panela con alto nivel de calidad. En cuanto al monitoreo del funcionamiento del molino, debe medirse el porcentaje de

extracción de jugo para minimizar las pérdidas de jugo en el bagazo de la caña.

En el “Manual para la selección, montaje y operación de los equipos de molienda para la producción de panela”⁶, se encuentran las especificaciones y recomendaciones técnicas para el montaje y mantenimiento del molino y el motor, así como para la selección y montaje de la correa o banda transportadora de potencia. Para este manual, lo importante en cuanto la instalación de los equipos es que la distancia entre éstos y las paredes perimetrales, columnas u otros elementos de la edificación, sea tal que les permita funcionar adecuadamente y facilite el acceso para la inspección, limpieza y mantenimiento. Se recomienda como mínimo que esta sea de un (1) metro. El área destinada al motor debe ser ventilada, y el tubo de escape de gases debe ser prolongado hasta sacarlos al ambiente y nunca estos gases deben ser evacuados en el área de proceso.

5.4.1.2 Características fisicoquímicas de los jugos de caña

El jugo obtenido directamente del molino es un dispersoide compuesto por materiales en todos los

6 García *et al.* p 48. Manual para la selección, montaje y operación de los equipos de molienda para la producción de panela. CIMPA. Barbosa. 1992.

tamaños, desde partículas gruesas hasta iones y coloides. El material grueso consiste principalmente de tierra, partículas de bagazo y cera y el jugo tiene una composición general, como se muestra en la Tabla 11.

☐ Sólidos solubles

Entre los sólidos solubles de los jugos de caña sobresalen los azúcares como sacarosa, glucosa y/o fructuosa y existen además compuestos menores como: minerales, proteínas, ceras, grasas y ácidos, que pueden estar en forma libre o combinada. La composición determina las características de los jugos y mieles, como por ejemplo la consistencia, que está determinada por el porcentaje de sacaro-

sa y azúcares reductores, el cual debe ser bajo en panela y alto en mieles.

La hidrólisis o rompimiento de la molécula de sacarosa (disacárido) en dos moléculas de cadena más corta: glucosa (dextrosa) y fructuosa (levulosa) se conoce como inversión de la sacarosa. Este fenómeno se inicia en la misma planta de caña, pero se acelera después del corte por efectos de temperatura, y pH. La sacarosa es estable en medio alcalino, mientras que los azúcares reductores lo son en medio ácido (Ecuación 2).

La sacarosa se sintetiza en la caña de abajo hacia arriba y su contenido aumenta con el tiempo hasta alcanzar su óptimo de madurez. Una vez la caña madura, se inicia la inversión de la sacarosa a glucosa y fructuosa.

TABLA 11. Composición general del jugo de caña

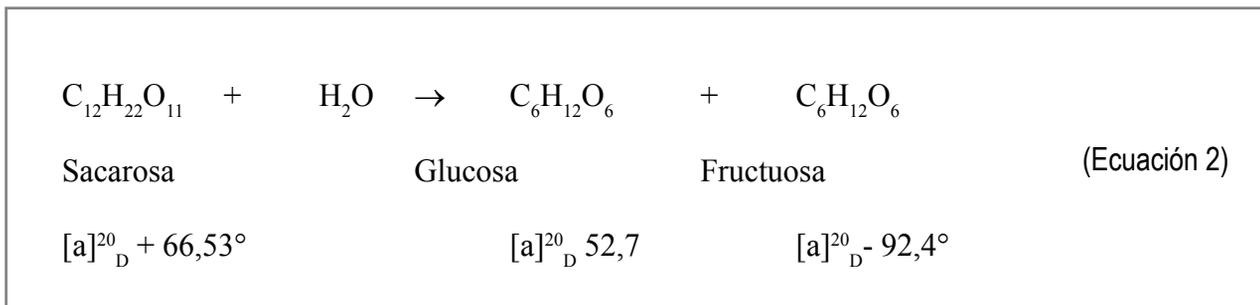
Componentes	Valor
Agua, %	75-88
Azúcares, %	11-21
Sacarosa, %	10-20
Glucosa, %	2-4
Fructuosa, %	2-4
Sales, mg/100g	1-3,0
Ácidos orgánicos libres, mg/100g	1,5-52,5
Carboxílicos, mg/100g	1,1-3,0
Aminoácidos, mg/100g	0,5-2,5
Componentes orgánicos menores	
Proteínas, %	0,5-0,6
Almidón, %	0,001-0,05
Gomas, %	0,3-0,6
Cera, grasas fosfátidos, %	0,05-0,15
Otros, %	3,0-5,0

Fuente: Fauconnier. Manual de la caña de azúcar. Editorial Blume. 1967.

☐ Otros compuestos

El porcentaje de este tipo de compuestos es bajo, generalmente en el orden de 1,0% del total.

- **Coloides.** Incluye tanto los derivados del suelo como los de la caña y están constituidos por partículas de tierra, ceras, grasas, proteínas, vitaminas, gomas, pectinas, taninos y material colorante, principalmente. Su contenido es bajo y fluctúa entre 0,05 y 0,3%. Las dispersiones iónicas y moleculares corresponden básicamente a azúcares y constituyentes minerales.
- **Ácidos orgánicos.** Los ácidos orgánicos identificados en el jugo son: Acotínico, Málico, Oxálico, Cítrico, Succínico y Fumárico. De estos el Acotínico es el que se encuentra en mayor proporción.
- **Compuestos nitrogenados.** El nitrógeno total presente en la caña varía entre 0,036 y 0,05%,



encontrándose la mayor parte en las hojas y cogollo de la caña. Los más importantes son las proteínas, que son sustancias complejas de alto peso molecular y los aminoácidos que son las unidades que constituyen la proteína. Los principales aminoácidos presentes en el jugo de la caña son: Acido Aspártico, Glutámico y Alanina. También se han identificado las siguientes proteínas: albúminas, nucleínas y peptonas.

- **Lípidos.** Los lípidos de la caña de azúcar corresponden a las grasas y ceras de la misma. Son constituyentes indeseables en el jugo y se eliminan parcialmente en la clarificación. El contenido de lípidos totales de la caña, en base seca, es de 0,69% en las hojas, 0,38% en los tallos, 0,54% en las raíces y 2,01% en las semillas.
- **Compuestos coloreados.** Son los responsables del color del jugo crudo. Se clasifican en cuatro grupos: Clorofilas, Xantofilas, Carotenos y Antocianinas. Los tres primeros son insolubles en soluciones azucaradas. Las Clorofilas son responsables del color verde y las Xantofilas y Carotenos de las coloraciones amarillas. Las Antocianinas son solubles en soluciones azucaradas y producen tonalidades azules, rojas o violetas, dependiendo del pH del jugo.
- **Compuestos de la caña que pueden desarrollar color.** Son aquellos que por su reacción o combinación con otras sustancias forman material colorante. Se pueden clasificar en dos grupos: Polifenoles y amino-compuestos. Los Polifenoles reaccionan con el hierro y el oxígeno para dar origen a compuestos de color oscuro, especialmente en soluciones alcalinas. Los amino-compuestos reaccionan con los azúcares reductores presentes formando compuestos coloreados.
- **Compuestos inorgánicos.** Se conocen comúnmente como minerales y su concentración en el jugo varía dependiendo del tipo de suelo, fertilización y variedad de caña. Los principales son: Sílice (SiO_2), Potasio (K_2O), Soda (Na_2O), Cal (CaO), Magnesio (MgO), Hierro (Fe_2O_3), ácido Fosfórico (P_2O_5), ácido Sulfúrico (S_2O_3) y Cloro (Cl).
- **Polisacáridos.** Están constituidos principalmente por el almidón que se encuentra en el protoplasma de las hojas y en el extremo de

los tallos de la caña. Su presencia disminuye la facilidad de clarificación de guarapos, debido a su alta solubilidad en caliente.

5.4.1.3 Bagazo de caña

Durante la molienda de la caña, además del jugo, se obtiene un residuo sólido denominado “bagazo verde”, cuya humedad depende del grado de extracción del molino, fluctuando entre 50 y 60%. Este bagazo es llevado y almacenado en cobertizos llamados bagaceras, hasta que alcanza una humedad inferior al 30%, valor necesario para que pueda ser utilizado como combustible en la mayoría de las cámaras de combustión de las hornillas o es posible emplearlo directamente en una hornilla tipo Ward, diseñada especialmente para funcionar con bagazo de un contenido de humedad cercano al 45%.

Bajo condiciones adecuadas de funcionamiento de la hornilla, la cantidad de calor generado por la combustión del bagazo producido en el molino, debería ser suficiente para cubrir la energía que demandan los procesos térmicos de elaboración de panela. No obstante, pese a los avances tecnológicos logrados por el CIMPA, donde se ha alcanzado puntos de eficiencia que llevan al equilibrio energético, aún en muchos trapiches es necesario el uso de leña como complemento y en el peor de los casos el uso de caucho de llanta. En términos generales, se dice que una hornilla es eficiente si el consumo de bagazo, seco a 30% de humedad, es de 1,8 a 2,0 kg por kg de panela.

El consumo nacional de leña en la producción de panela, adicional al bagazo, se puede estimar en cerca de 0,5 kg por kg de panela, en promedio; sin embargo, en algunas fincas, sobre todo de las regiones más atrasadas el consumo puede llegar hasta 2 kg. En Cundinamarca el consumo de leña por trapiche se estima en 1 kg de leña por kg de panela y 30 toneladas de leña por año, en promedio. En la Hoya del río Suárez se estima en 0,3 kg y en 90 t/año de leña por trapiche, en promedio. El consumo nacional se estima en 500.000 t/año de leña. Así mismo, se estima que para producir una tonelada de leña se requiere un árbol de cinco años de edad.⁷ Sumado a los problemas de deforestación y erosión de suelos, está la emisión de gases nocivos (producto de la combustión del caucho),



como lo son el CO y SO₂. Este último reacciona con la humedad presente en el aire atmosférico convirtiéndose en H₂SO₄ (lluvia ácida).

Otra alternativa de uso, es emplear el bagazo como fuente de fibra en nutrición animal y/o material de cama en las instalaciones pecuarias, para su posterior procesamiento y elaboración de abonos orgánicos.

□ **Secado del bagazo**

Atendiendo al requerimiento de humedad permisible para una combustión adecuada en las hornillas tradicionales, el bagazo necesita ser secado hasta una humedad del 30%, para su uso como combustible. Entre los sistemas de secado de bagazo se encuentran: el sistema tradicional y b) las bagaceras con cubierta transparente, plástico principalmente. La diferencia entre los modelos radica en el tiempo de secado: de 1 mes a dos meses en el sistema tradicional y 8 a 12 días en las bagaceras con cubierta plástica.

- **Sistema tradicional para secado de bagazo.** Se realiza en un espacio denominado bagacera, en el cual se arruma el bagazo. Debido a

que el tiempo de secado del bagazo es prolongado (ya que el secado se da por convección natural), las áreas empleadas para este fin son muy grandes. Las estructuras se construyen en madera y cubiertas de teja zinc o eternit (Figura 23).

- **Sistema de cubierta plástica.** Este modelo aprovecha la energía solar, haciendo uso de una cubierta plástica transparente, tipo invernadero, que permite retener la energía calorífica generada dentro del sistema, eliminar los problemas de condensación, reducir la sombra y aprovechar la energía que traspasa la cubierta, para el secado del bagazo, logrando la reducción en el tiempo de secado⁸ (Figura 23).

Uno de los beneficios más importantes de las bagaceras plásticas es el tiempo reducido del secado, el cual se traduce en menores pérdidas de azúcares por fermentación, lo cual permite obtener mayor cantidad de energía disponible y contenidos de humedad final más bajos. Esto se traduce en el mejoramiento de la eficiencia en la combustión y capacidad del horno panelero, las cuales son inversamente proporcionales al contenido de humedad del bagazo.

FIGURA 23. Bagacera tradicional y bagacera de cobertura plástica.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, 2006.

7 GARCÍA, Hugo. Programa de procesos Agroindustriales. CORPOICA - TIBAITATA, 2006.

8 ATEHORTUA LONDOÑO Jainyer. Evaluación de dos alternativas para el secado de bagazo en la industria panelera. p135, 2003.

La vida útil promedio de una bagacera en plástico está directamente relacionada con el tipo de material empleado para la construcción (se recomienda usar plástico para invernaderos, agroleno, por su resistencia a la acción de los rayos ultravioleta) y el cambio periódico de la cubierta plástica se debe realizar cada dos años, en promedio.

□ Consideraciones de diseño de la bagacera

La bagacera debe ubicarse de tal forma que se facilite el transporte del bagazo del molino a la bagacera y posteriormente de esta a la cámara de combustión de la hornilla (Figura 15). Recorridos inútiles, producto de una distribución de planta inadecuada, aumentan el esfuerzo físico de los obreros, los costos de producción y los riesgos de accidentes. Se recomienda construir la bagacera separada del cuerpo principal de la enramada, para disminuir el riesgo de incendios y de contaminación cruzada de la panela. El tamaño de la bagacera debe ser proporcional al volumen de panela producida y al tiempo de secado. Se calcula que por metro cuadrado de bagacera, a una altura de pila de 2,5m, se almacena bagazo suficiente para producir 100 kg de panela⁹.

5.4.2 LIMPIEZA DE LOS JUGOS

En la limpieza se retiran de los jugos todas las impurezas de carácter no nutricional con el fin de obtener una panela de buena calidad. Para la limpieza se usan medios físicos (como la filtración, la decantación o precipitación y la flotación), medios térmicos y medios químicos. La limpieza de los jugos consta de las operaciones de prelimpieza, clarificación y encalado.

5.4.2.1 Prelimpieza

La prelimpieza es la operación que consiste en separar y eliminar, por medios físicos y a temperatura ambiente, el material grueso presente en el jugo cuando sale del molino. Este material forma coloides compuestos de partículas de tierra, bagazo, ceras, grasas, proteínas, vitaminas, gomas, pectinas, taninos y material colorante. Estos coloides forman costras en el fondo de las pailas recibidora y clarificadora, que reducen la eficiencia térmica de la hornilla y son precursores de color que oscurecen la panela. Para su separación, CIMPA diseñó los prelimpiadores, los cuales se suplementan con mallas filtrantes (Figura 24).

FIGURA 24. Filtro y prelimpiador para jugos.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, E.E CIMPA. 2006

9 GORDILLO A. Gerardo, GARCÍA B. Hugo R. Avances Técnicos en la Producción de Panela. CIMPA. Barbosa, Santander. Colombia. 1992.



❑ Mallas filtrantes para jugo

Son mallas plásticas o en acero que se ubican a la salida jugos sobre la paila recibidora. Sirven para eliminar las impurezas que no son separadas en el prelimpiador. Como el jugo crudo tiene un contenido alto de bagacillo se recomienda emplear mallas de orificios relativamente grandes, con 10 a 12 orificios por centímetro lineal, para evitar la saturación rápida del filtro.

❑ Prelimpiadores

Con el objeto de superar los inconvenientes que presentaban los sistemas tradicionales para la limpieza de jugos, Cimpa diseñó el prelimpiador, cuya función es retener el material grueso y parte de las impurezas menores dispersas en el jugo. El prelimpiador funciona de forma continua durante la molienda y utiliza, como principio para la separación, la diferencia de las densidades existentes entre las impurezas y el jugo. Las impurezas más pesadas que el jugo, como las partículas de tierra y bagazo, el lodo y la arena, se precipitan hacia el fondo del prelimpiador y las livianas, como el bagacillo, las hojas, los insectos, etc; se separan simultáneamente, por flotación.

El prelimpiador se debe ubicar en la salida del jugo del molino, pero separado de este para evitar la contaminación con aceite. Cuando el volumen de jugo es mayor de 500 L/h se recomienda ubicar

un segundo prelimpiador en serie para asegurar una mayor limpieza de los jugos. El prelimpiador Uno recibe el jugo del molino y remueve las impurezas de mayor tamaño, que son las que se separan más rápidamente debido a su mayor diferencia de densidad con el jugo. Por este motivo su altura efectiva debe ser mayor que la del prelimpiador dos y su longitud menor, para evitar la fermentación de los jugos a causa de tiempos de residencia en el prelimpiador muy prolongados por depósitos muy grandes.

Por su parte, el prelimpiador dos retiene las impurezas con densidades más cercanas a las del jugo, las cuales son más difíciles de separar, tales como lodos y partículas pequeñas. Con este propósito, su menor altura se compensa con una mayor área superficial para lograr una mayor permanencia del jugo en el prelimpiador sin aumentar el volumen de jugo en proceso. Con la disposición descrita, el jugo llega del molino al prelimpiador uno y las impurezas gruesas y pesadas se separan rápidamente del jugo, el cual pasa por debajo de la lámina retenedora de partículas flotantes para dirigirse al prelimpiador dos donde se separan las impurezas pesadas (Figura 25).

❑ Diseño y construcción del prelimpiador

Para la construcción del implemento se debe utilizar única y exclusivamente lámina de acero inoxidable, (no importando que al inicio de la difusión

FIGURA 25. Prelimpiador 1 y 2.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, E.E CIMPA. 2006.

del prelimpiador se recomendaran materiales de albañilería), pues es un material resistente a la corrosión y recomendado en procesos de producción de alimentos.

Las dimensiones de los prelimpiadores dependen del caudal y de la carga de sólidos del jugo. Entre mayor carga de material a separar, mayores deben ser las dimensiones de los prelimpiadores. En la Tabla 12 se presentan las dimensiones de los prelimpiadores Uno y Dos en función de la capacidad del molino (kg/h de caña) y para una carga promedio de impurezas. Los planos se pueden conseguir en Corpoica.

En trapiches con molinos con capacidad superior a 2,5 t/h de caña, el ancho de los prelimpiadores se debe aumentar en 10 cm por cada 500 kg de caña adicional o colocar un tercer prelimpiador de las mismas dimensiones del segundo.

□ **Mantenimiento del prelimpiador**

Se recomienda retirar varias veces al día durante la molienda las impurezas que flotan; este material puede pasarse nuevamente por el molino con el fin de recuperar parte del jugo retenido. Para lograr un funcionamiento óptimo del prelimpiador es preciso seguir algunas recomendaciones adicionales:

- 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.

- Las láminas o placas retenedoras no se deben mover de sus ranuras cuando el prelimpiador este en operación.
- Los prelimpiadores se deben tapar para evitar la caída de bagazo y otras impurezas en los jugos.
- Los orificios de evacuación de lodos deben estar bien cerrados para evitar las fugas de jugo.
- Los prelimpiadores deben lavarse totalmente, mínimo cada 6-8 horas de proceso, con el fin de evitar la fermentación de los jugos y el deterioro de la calidad de la panela. Para lavar los prelimpiadores, primero se retira el tapón del jugo residual, el cual se recibe en un balde limpio y se deposita en la paila recibidora; a continuación se retiran los taponos inferiores a fin de evacuar los lodos acumulados en el fondo y se lavan totalmente los prelimpiadores con abundante agua limpia para que salgan los residuos de lodo, arena y partículas de bagazo. Se añade una lechada de cal concentrada para eliminar las bacterias que pueden inducir procesos de fermentación en los jugos nuevos.

5.4.3 FASE DE HORNILLA

La hornilla u horno panelero, es el implemento del trapiche encargado de transformar la energía del combustible (bagazo) en energía térmica. Las etapas de clarificación, evaporación y concentración

TABLA 12. Dimensiones de prelimpiador con relación a la capacidad de producción del trapiche.

Capacidad del molino (kg caña/hora)	Tipo de prelimpiador	Largo	Alto	Ancho
< 500	1	0,80	0,36	0,15
500 – 1.000	1	1,00	0,50	0,30
	2*	1,75	0,30	0,30
1.000 – 2.000	1	1,25	0,50	0,40
	2	1,75	0,30	0,40
2.500	1	1,50	0,50	0,50
	2	2,00	0,30	0,50

* El prelimpiador tipo 2 es opcional si la caña viene muy sucia del apronte.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA. 2006.



se llevan a cabo en la hornilla, donde se evapora más del 90% del agua presente en el jugo, para obtener finalmente la panela.

La Figura 26 corresponde a la representación isométrica del proceso de elaboración de panela con base en un diseño de hornilla tipo Cundinamarca desarrollado por CORPOICA. En este isométrico se muestran gráficamente las operaciones y equipos empleados en el proceso. Este diagrama se aplica al proceso de elaboración, independientemente de la capacidad de producción y tamaño de los equipos. En algunas regiones varía el tipo de hornilla y la dirección del flujo de los gases y de los jugos, pero en general ilustra de manera adecuada el proceso de producción.

De acuerdo al manejo de los jugos, existen tres formas de flujo de los jugos a través de la hornilla: paralelo, contracorriente y mixto.

- **Flujo en paralelo.** Los gases circulan en la misma dirección que lo hacen los jugos. Es característico de las regiones de Antioquia, el Viejo Caldas y Nariño (Figura 28).
- **Flujo en contracorriente.** Los jugos y los gases circulan en dirección opuesta. Es el flujo

ideal, pero se corre el riesgo que se queme la panela por la ubicación de la paila punteadora (Figura 28). La hornilla con doble cámara de combustión de Cundinamarca es el representante ideal de este modelo de flujo, donde la paila punteadora o panelera se coloca sobre una cámara especial para ella con el fin de controlar la temperatura de los gases en la fase final del proceso.

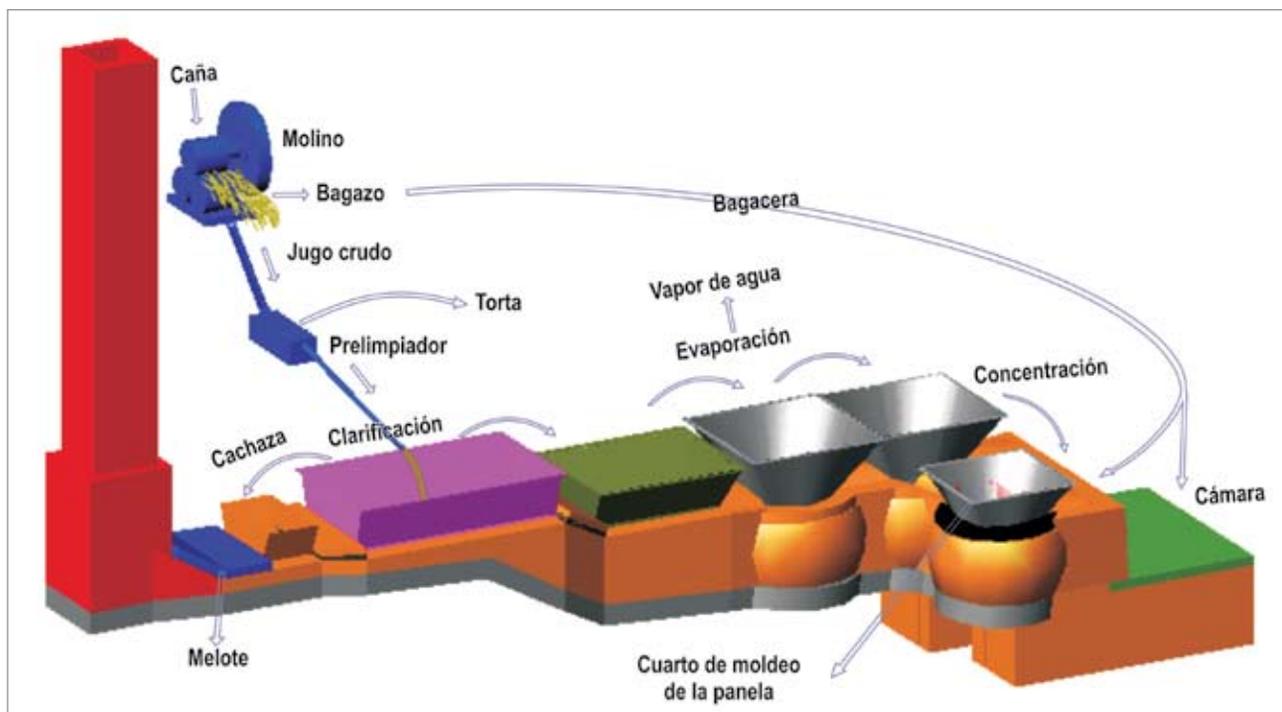
- **El flujo mixto.** Es la combinación de los dos anteriores. Es típico en las zonas de Cundinamarca y la Hoya del Río Suárez (Figura 28).

La forma y tamaño de una hornilla panelera varía mucho entre una región panelera y otra pero en general, puede decirse que está formada por una cámara de combustión, área de evaporación o pailas, ducto de humos y chimenea.

□ Cámara de combustión

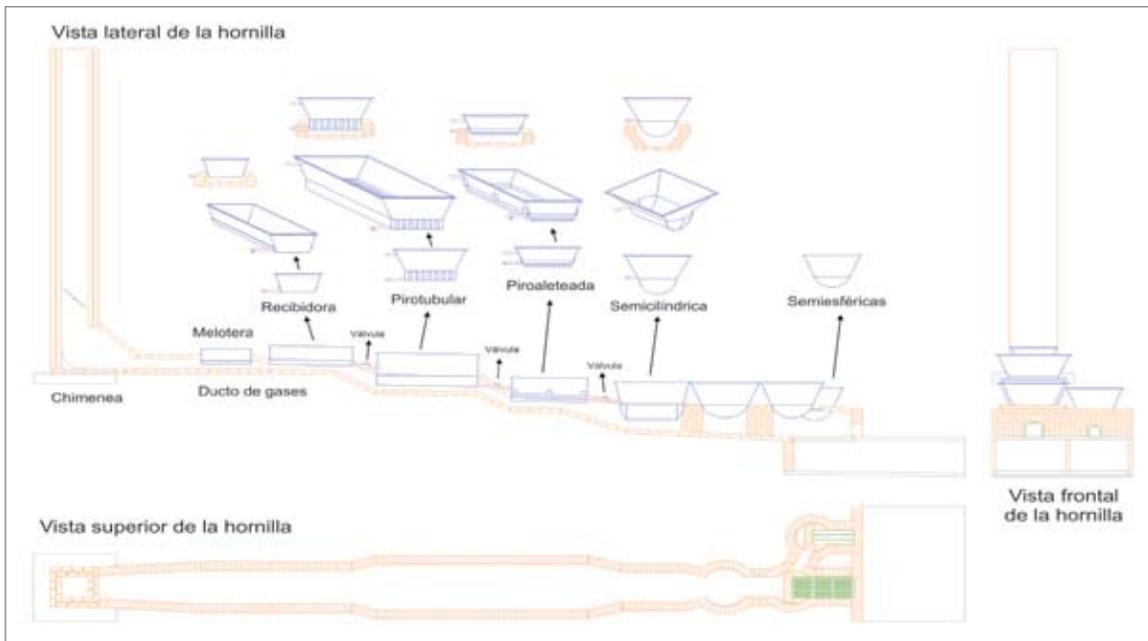
Es una cavidad donde se quema el bagazo y demás combustibles empleados en la fabricación de panela. Consta de boca para alimentación del combustible, la parrilla o emparrillado y el cenicero.

FIGURA 26. Ilustración isométrica de las operaciones del proceso de elaboración de panela.



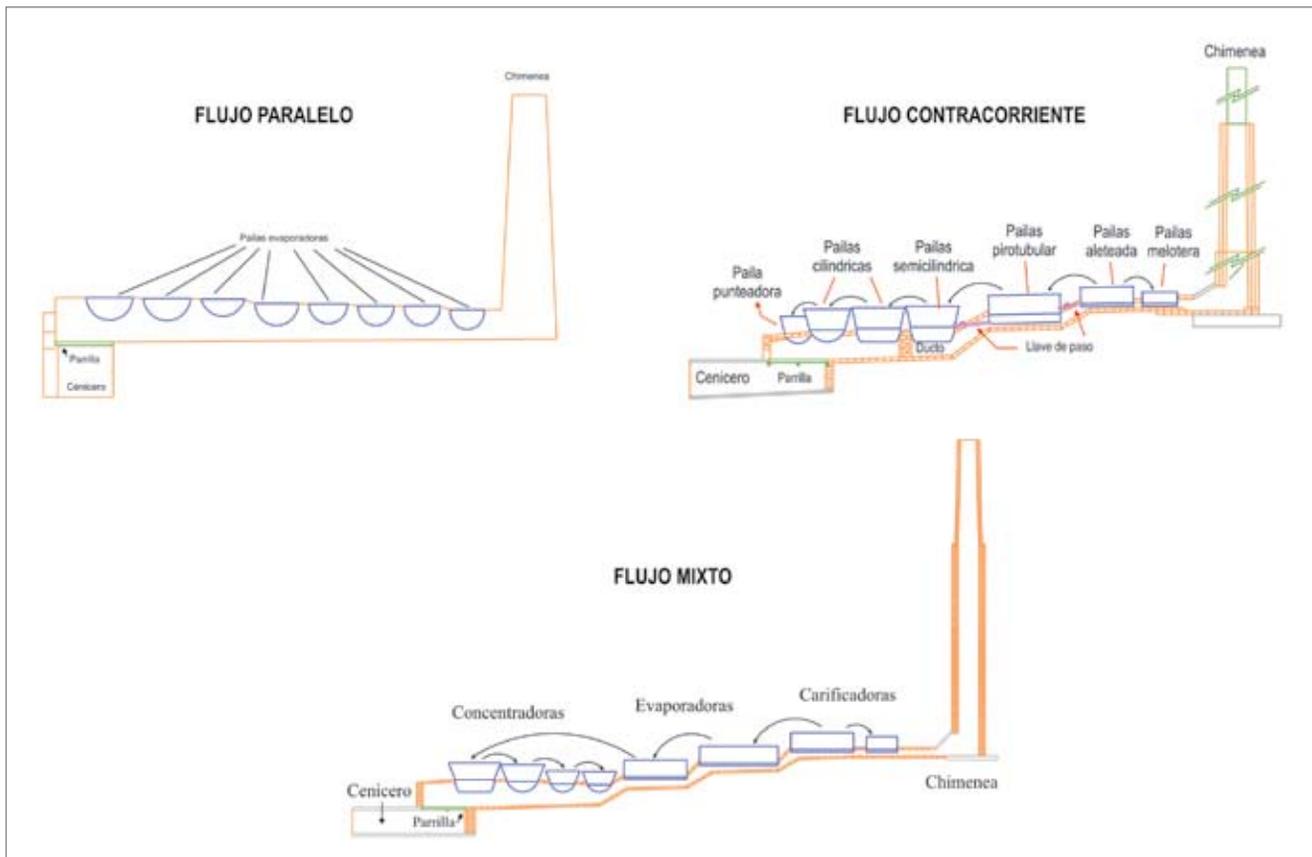
Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, 2006.

FIGURA 27. Corte longitudinal de un trapiche.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, 2006.

FIGURA 28. Flujos en hornillas paneleras.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA - C.I. Tibaitatá 2006.

La boca para alimentación de combustible es una abertura por donde el operario introduce el bagazo a la cámara de combustión (Figura 29). Puede construirse en diversos materiales y formas, pero lo más común son puertas de forma cuadrada o rectangular construidas en hierro fundido, material que soporta temperaturas medianamente altas sin deformarse.

La parrilla es un enrejado formado por un conjunto de barrotos tendidos horizontalmente. Su función es servir como lecho al bagazo permitiendo la entrada del aire necesario para la combustión y el paso de las cenizas hacia el cenicero. La parrilla se construye en diversos materiales, desde ladrillo común o rieles de ferrocarril hasta las desarrolladas por el CIMPA, que permiten una mayor entrada de aire (Figura 29).

El cenicero se encuentra directamente bajo el emparillado y su función es almacenar las cenizas que se generan al quemar el bagazo, canalizar y precalentar el aire para su combustión. Es un compartimiento construido en ladrillo, ductos formados por excavaciones directas en la tierra, otros fabricados en ladrillo común de albañilería.

Los tipos de cámara de combustión para hornillas paneleras más difundidos son: el tradicional, tradicional mejorado, el tipo Ward y el tipo Ward-Cimpa.

En la cámara tradicional el área de la parrilla es demasiado grande, lo cual permite la entrada de grandes excesos de aire que enfrían los gases y originan bajas temperaturas de combustión (650 a 850°C, con bagazo del 30% de humedad). Además,

la presencia de la superficie relativamente fría de las pailas directamente sobre la cámara de combustión ocasiona una combustión incompleta y la liberación de porcentajes elevados de monóxido de carbono, CO (entre el 6 a 10%) (Figura 30).

La cámara tradicional mejorada, se basa en un diseño similar al de una cámara tradicional, pero difiere en el diseño del área de la parrilla y en el mayor volumen de la cámara de combustión. En esta cámara el exceso de aire y de CO es menor (4 a 5%), de forma tal que se consiguen temperaturas de combustión un poco mayores que en la anterior (850 a 950°C).

En la cámara tipo Ward-Cimpa, se aumenta la temperatura de combustión (1.100°C, en promedio) y se libera menor cantidad de CO (cerca de 1%). Solamente, el 70% del aire necesario para la combustión (aire primario) entra a través de la parrilla, permitiendo que ocurra una primera combustión. Luego, los gases de combustión (incluso volátiles) ascienden y, en el punto de la restricción o garganta de la cámara, se mezclan con aire restante o secundario (30%), que se suministra a través de orificios dispuestos para ello. La combustión se completa en el espacio entre la garganta y la primera paila, denominado segunda cámara de combustión. Este tipo de cámara permite utilizar bagazo con humedades hasta del 45% (Figura 30).

□ Área de evaporación o pailas

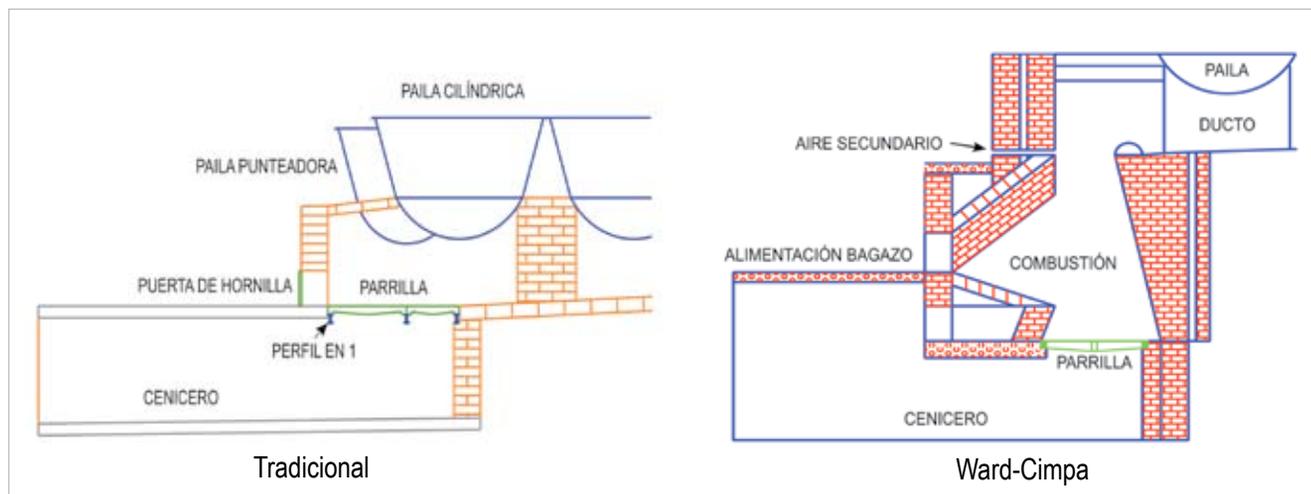
También denominada batería de concentración. Consiste en un conjunto de intercambiadores de

FIGURA 29. Puerta de alimentación en hornilla con cámara doble, parrilla vista interior y diagrama.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA - C.I. Tibaitatá 2006.

FIGURA 30. Cámara de combustión Tradicional y tipo Ward-Cimpa.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, 2006.

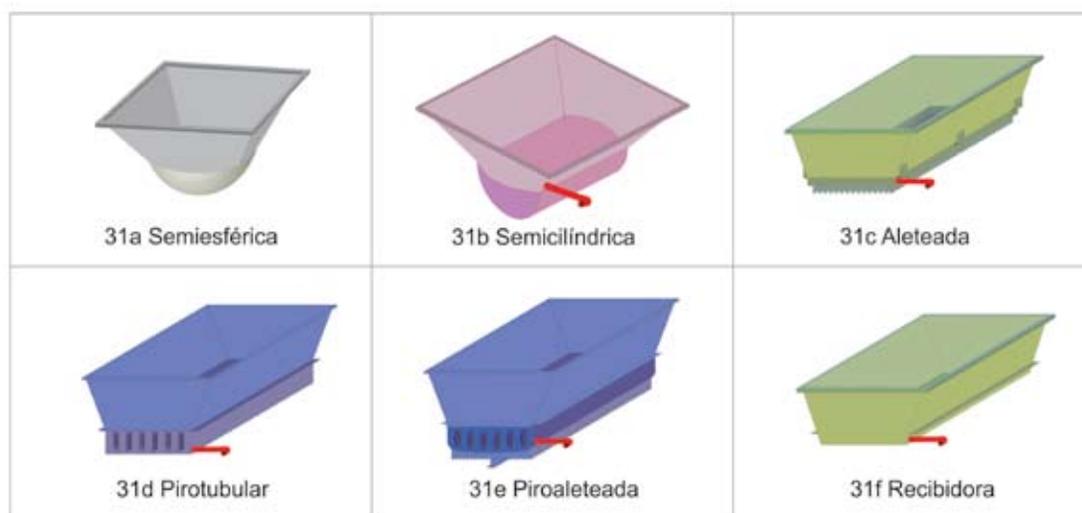
calor, denominados pailas, fondos o tachos, donde se transfiere la energía de los gases de combustión a los jugos o mieles, para llevar a cabo las etapas de clarificación y evaporación.

El tamaño, forma y material de fabricación de las pailas varía de acuerdo con el desarrollo tecnológico de cada trapiche y región. Las pailas tradicionales son las de forma semiesférica, aunque también se usan las planas y semicilíndricas. Se fabrican generalmente en cobre, aluminio, acero inoxidable o hierro; por procesos de fundición, deformado en caliente o unión con soldadura. Pa-

ra aumentar la transferencia de calor y por tanto la eficiencia térmica de las hornillas, inicialmente el CIMPA desarrolló las pailas aleteadas y posteriormente Corpoica ha desarrollado una paila pirotubular y actualmente está evaluando una piroaleteada. Con estas pailas se aumenta el área de contacto de los gases o de intercambio de energía para ganar la mayor cantidad de energía posible en cada paila sin aumentar en forma significativa el volumen de jugo en cada recipiente (Figura 31).

Como en los jugos en ebullición se forma espuma, con el fin de evitar su desbordamiento,

FIGURA 31. Diferentes tipos de pailas desarrolladas por Corpoica.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá 2006.



se incrementa el volumen de las pailas mediante paredes de cemento, madera o lámina metálica, denominadas falcas. Cuando la falca es de lámina de aluminio, cobre, acero inoxidable o hierro galvanizado, se unen al casco de la paila por medio de remaches o soldadura. Las pailas de acero inoxidable, con la falca soldada, son las únicas recomendadas para la producción de panela, dada sus características de alimento para el consumo humano. Las superficies exteriores de las pailas se deben diseñar para facilitar su limpieza y evitar la acumulación de suciedad, microorganismos u otros agentes contaminantes del alimento.

□ Ducto de humos

Es un canal ubicado a continuación de la cámara de combustión cuya función es dirigir los gases de la combustión hacia la chimenea permitiendo el calentamiento de los jugos a través de las pailas. La forma de los ductos depende del tipo de pailas y de los materiales usados, los cuales varían de acuerdo al desarrollo técnico y económico de cada región. Se encuentran ductos formados por excavaciones directas en la tierra, otros hechos en ladrillo común de albañilería y el CIMPA diseñó los ductos usando ladrillo refractario, que resiste mayores temperaturas con un menor nivel de deterioro (Figura 32).

□ Chimenea

Es un conducto vertical de forma cilíndrica, tronco de pirámide o de cono construido en ladrillo común o lámina de hierro, empalmado con la hornilla al final del ducto. Sus funciones son producir la succión de aire necesaria para quemar el combustible y generar el tiro requerido para transportar los gases a través de la hornilla (Figura 32).

5.4.3.1 Clarificación

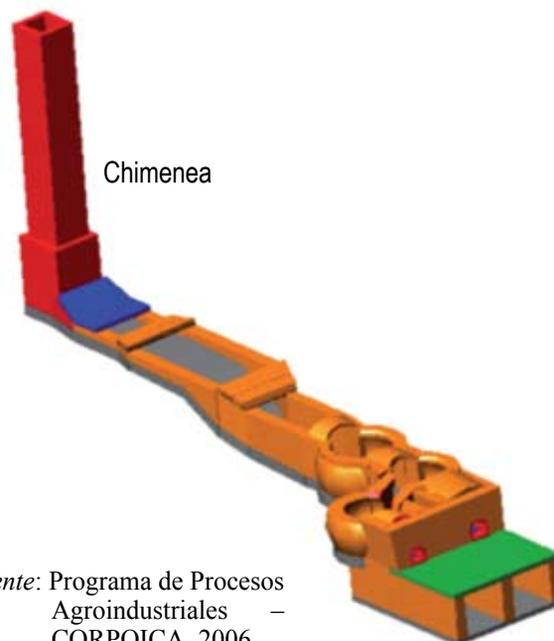
Es la primera etapa del proceso que ocurre en la hornilla panelera y se realiza en las pailas receptoras y clarificadoras. Terminada la prelimpieza se obtiene el jugo sin clarificar o guarapo que pasa directamente al fondo o paila receptora (llamada

también paila descazachadora, Figura 31), donde tiene lugar la clarificación de los jugos, cuyo objetivo es eliminar los sólidos en suspensión, las sustancias coloidales y algunos compuestos colorantes presentes en los jugos. En la elaboración de la panela, la clarificación se lleva a cabo por flotación, ya que es imposible realizarla por sedimentación puesto que en las pailas los jugos se encuentran en ebullición y no tienen descarga por el asiento.

La clarificación se inicia cuando los jugos llegan a la paila receptora a la temperatura ambiente y termina cuando se alcanza la ebullición. Es recomendable que la temperatura del jugo se eleve entre, 1,5 y 2,5°C por minuto para que el efecto combinado de temperatura, tiempo de clarificación y el floculante, permitan la aglutinación de las impurezas.

La clarificación comienza con el calentamiento de los jugos hasta una temperatura de 50 a 55°C. El calentamiento acelera la formación de partículas de tamaño y densidades mayores (coagulación), y aumenta su velocidad de movimiento lo cual facilita su agregación y separación (floculación). La segunda fase de limpieza ocurre gracias a la acción de las sustancias coagulantes y clarificantes.

FIGURA 32. Ducto de gases y Chimenea



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, 2006.

Su uso incrementa y ayuda a la compactación de los floculos formados por los sólidos en suspensión, las sustancias coloidales y algunos compuestos colorantes presentes en los jugos.

Entre los clarificantes vegetales más conocidos están los mucílagos obtenidos de la maceración de las cortezas del balso, cadillo o guásimo (Tabla 13) y otras plantas o productos vegetales de uso no tan generalizado, como la ‘escoba babosa’, el ‘Juan Blanco’, la corteza del fruto del cacao y los polímeros de elevado peso molecular o resinas de intercambio aniónico o catiónico. Aunque CIMPA desarrolló la metodología y las condicio-

nes de operación de la clarificación con polímeros químicos, el carácter de orgánico y/o biológico de la panela lleva al concepto de favorabilidad de los clarificantes vegetales.

La clarificación mediante cortezas se suele realizar de dos maneras diferentes:

☐ **Inmersión de las cortezas maceradas en el jugo**

Las cortezas maceradas (Figura 33), se amarran en la punta de una vara y se sumergen en el jugo, cuando este alcanza entre 60° y 70°C de temperatura.. Si

TABLA 13. Mucílagos vegetales más importantes para la clarificación de jugos.

Espece	Descripción
Balzo <i>Ocrhoma lagopus</i>	Esta planta pertenece al orden de las malváceas. Es un árbol muy común entre los climas templados del país (de 1.200 a 1.800 m.s.n.m.). Se usa solo o mezclado con otras especies..
Guásimo: <i>Guazuma ulmifolia</i> L	Este árbol se encuentra frecuentemente en las llanuras cálidas por debajo de los 1.200 m.s.n.m. Planta muy utilizada en las zonas paneleras de Cundinamarca y Valle. Además sirve como forrajera.
Cadillo: <i>Triumfetta mollissima</i> L. y <i>Triumfetta lappula</i> L	Cadillo negro y cadillo blanco, respectivamente. Pertenece a la familia de las Tiliáceas. Propia de tierras cálidas, a menos de 1.000 m.s.n.m. Espece muy utilizada en las zonas paneleras de Antioquia y Valle, mezclada con balzo.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, E.E CIMPA. 2006.

FIGURA 33. Maceración de la especie aglutinante y recipiente para la preparación del aglutinante.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA – Tibaitatá 2006.



bien esta es una práctica adoptada en la gran mayoría de trapiches, no es recomendable, ya que las fibras vegetales desprendidas contaminan jugos. Además este sistema no permite una liberación uniforme del mucílago y el jugo no presenta las condiciones aptas para el desprendimiento y floculación de sólidos y, el descachazado del jugo es incompleto.

Sumergir las cortezas directamente en el jugo disminuye el consumo de bagazo en la hornilla. Sin embargo, en épocas de verano fuerte se debe agregar agua al jugo para que suelte la cachaza totalmente.

□ Preparación de la solución aglutinante

Con el objeto de obtener los mejores resultados en la limpieza de los jugos, se debe preparar una solución aglutinante, disolviendo en agua la corteza de las ramas para la obtención del mucílago. La solución se prepara así: se cortan las ramas semi-leñosas (ni tiernas, ni viejas) guásimo o cadillo o se desprende la corteza del balso y se maceran con un mazo sobre una superficie limpia. Las cortezas maceradas se atan y se colocan en un recipiente con agua, preferiblemente tibia (50°C). Luego se agitan durante unos 5 minutos para diluir el mucílago y se deja reposar hasta obtener una solución parecida a la clara de huevo. En algunos trapiches, en la preparación del mucílago se sustituye el agua

por jugo clarificado lo cual constituye una práctica aconsejable desde el punto energético, pero de control estricto pues la solución se fermenta muy fácilmente y deteriora la calidad de la panela.

□ Recipiente para la preparación del aglutinante

Para conservar la higiene de la solución, además de usar agua apta para consumo humano, se debe utilizar un recipiente en acero inoxidable (Figura 33) o de un material inerte, de superficie lisa, que facilite el lavado y no favorezca la contaminación por microorganismos. Este recipiente debe lavarse y enjuagarse con una lechada de cal máximo cada 12 horas.

La cantidad de solución mucilaginoso a emplear depende de la concentración de la misma, de la variedad de caña que se esté moliendo, de la calidad de los jugos y de las condiciones climáticas de la zona, pero se estima que obedece a una relación del 2,5% del volumen del jugo a limpiar. Cuando los jugos alcanzan una temperatura superior a 60°C, se agregan 3/4 partes (75%), de la solución total, se agita fuertemente para lograr una buena mezcla con el jugo y se deja la paila en reposo. Cuando el jugo alcanza entre 75 y 85°C, se forma cachaza negra (Figura 34) la cual se retira manualmente.

FIGURA 34. Adición de las cortezas y formación de la cachaza.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA - Tibaitatá. 2006.

Después de retirar la cachaza negra, se añade el 25% restante del mucílago y se comienza a formar 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 es muy difícil retirarla y se diluye en el jugo volviendo a la panela susceptible al crecimiento de hongos y levaduras, al tiempo que se reduce de manera significativa su estabilidad y tiempo de almacenamiento. Por lo tanto, una clarificación adecuada determina en gran parte la calidad final de la panela y su color.

Las cachazas negra y blanca se pasan al filtro cachacero, donde por sedimentación se separa el jugo de la torta de cachaza. El jugo se mezcla con el jugo sin clarificar en la paila recibidora y la cachaza, se cocina en una paila especial para producir el melote.

Una preparación adecuada del mucílago es fundamental, ya que si se tiene una solución poco concentrada, se adicionará mucha agua a los jugos y se aumentará el consumo de bagazo en la hornilla. Por otra parte, el exceso de mucílago es perjudicial, pues la panela presentará problemas con el grano al tener una consistencia blanda y babosa.

La solución del aglutinante se debe preparar máximo cada 4 horas para evitar su deterioro, pues es un producto vegetal y por consiguiente contiene microorganismos que se desarrollan fácilmente bajo estas condiciones de humedad, temperatura y alimento. Sin embargo, antes de ese tiempo, las corizas se deben cambiar cuando al contacto con el agua no produzcan una buena cantidad de mucílago o baba. Encalado y control del pH de los jugos.

5.4.3.2 Alcalinización de los jugos

El grado de acidez de los jugos es uno de los factores importantes de controlar en el proceso de elaboración de la panela y el pH es un indicativo de ese grado de acidez.; El objetivo es trabajar con un pH que evite el desdoblamiento o inversión de la sacarosa en azúcares reductores (glucosa y fructuosa) y que, al mismo tiempo, no destruya los azúcares reductores presentes, pues esto origina compuestos que oscurecen la panela. Los azúcares reductores no deben pasar de 8 a 10% si se quiere obtener una panela de buena calidad, desde el pun-

to de vista de la dureza. Esta cantidad corresponde a la concentración de los azúcares reductores iniciales del jugo crudo más una pequeña cantidad producto de la inversión de la sacarosa durante el proceso, sobre todo en la fase de concentración (de 70 a 94°Brix), que es cuando se incrementa la temperatura de ebullición de la solución (de 102 a 122° C) .

El máximo de azúcares reductores en el jugo crudo, debe estar en el orden del 0,5% para lograr una panela de buena calidad, siempre y cuando el tiempo de evaporación del agua no pase de las tres horas. Un horno “dormilón”, donde la evaporación del agua se realice durante un tiempo muy prolongado, llevará a obtener una panela melcochuda o perilluda, muy rica en azúcares reductores, pero que será castigada en su precio en el mercado, independiente de una baja concentración de reductores en el jugo crudo.

Tradicionalmente se ha empleado la cal (Óxido de calcio, CaO) y carbonato de calcio (Ca₂CO₃) para alcalinizar y subir el pH de los jugos o de las mieles. De acuerdo con las costumbres regionales, producto del conocimiento empírico, la cal se agrega en las operaciones de limpieza o en la de concentración. Si se agrega en la fase de la limpieza se aprovechan sus propiedades coagulantes, además de subir el pH. En esta forma, según estudios realizados por el CIMPA, la acción de los floculantes vegetales mejora y se obtienen jugos y panelas más limpias. No obstante, presenta los inconvenientes de incrementar el tiempo de separación entre la cachaza y el jugo en el filtro cachacero al acercar su densidad a la de la cachaza, además de formar una cachaza menos densa y de incrementar el consumo de cal. Esta es una buena forma de agregar la cal cuando el pH de los jugos es menor de 5, o sea muy ácido.

Cuando el jugo crudo tiene un pH superior a 5,4 y cercano a 5,8 se requiere agregar muy poca cal y generalmente se hace cuando se inicia la fase de concentración final. En estas condiciones, la función de la cal es la de evitar el desdoblamiento de la sacarosa y contribuir al “grano” o finura de la panela.

El sobre-encalado de los jugos (pH superior a 6,0), origina un marcado oscurecimiento de la panela y baja aceptación en el mercado. Por el



contrario, una deficiente adición de cal favorece el incremento de azúcares invertidos en la panela, lo que estimula su contaminación por hongos y reduce su vida útil.

Se ha observado que requiere mayor cantidad de cal aquella caña cosechada 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, la proveniente de tallos fuertemente afectados por el ataque de barrenadores.

El encalado se debe hacer bajo la forma de ‘lechada de cal’, es decir una suspensión de cal apagada en agua o en el mismo jugo, en concentraciones de 100 a 150 gramos de cal por litro de agua o jugo. Para facilitar su disolución, el diámetro de las partículas de cal (su granulometría) debe ser muy pequeño.

La calidad de la cal es un factor importante para tener en cuenta en el proceso de producción de la panela, pues si la cal no es de grado alimenticio, su adición aporta impurezas y aún compuestos químicos que pueden ser tóxicos. La calidad de la cal se establece mediante análisis de laboratorio, entre los cuales los más importantes son el porcentaje de Óxido de calcio, CaO aprovechable, la prueba de asentamiento, el porcentaje de humedad, y los contenidos de azufre y de algunas otras impurezas. El porcentaje de CaO aprovechable en una cal de primera clase debe estar entre 85 y 90%; sin embargo, los porcentajes de impurezas y de CaO aprovechable no son suficientes para clasificar una cal de un modo completo. Si se observa un incremento gradual del pH del jugo alcalinizado, así como el asentamiento de materiales lodosos en la solución de panela, es indicio que se está usando cal de mala calidad, sobrecalcinada o muerta, cuyas partículas se hidratan muy lentamente. Por lo anterior, toda la cal empleada en la industria panelera debería tener el certificado de producto con calidad grado alimenticio de una entidad plenamente autorizada para ello.

□ Medición del pH de los jugos

Un método muy simple para medir el pH de los jugos es la cinta indicadora de pH. La cinta es una

tirilla de papel, que permite hacer una lectura del pH por comparación con un patrón. Una vez esta se humedece con la muestra (en este caso de jugo), cambia de color. El color que toma la cinta (después de 5 segundos), se compara con una escala colorimétrica asociado a valores de pH según el tipo de color (Figura 35).

También se pueden usar medidores electrónicos de pH o pH_{metros} , pero su costo es un poco alto y su manejo un complicado para las condiciones de un trapiche.

5.4.3.3 Evaporación y concentración

Terminada la clarificación, se inicia la evaporación del agua, aumentando de esta manera la concentración de azúcares en los jugos. En esta etapa, el calor suministrado es aprovechado básicamente en el cambio de fase del agua de líquido a vapor, con lo cual se aumenta el contenido inicial de sólidos solubles hasta el punto de panela. Cuando los jugos alcanzan un contenido de sólidos solubles cercano a los $70^{\circ}B$, adquieren el nombre de mieles y se inicia la concentración. En este punto, los jugos se recogen en el fondo puntero o panelero y se les agrega un agente antiadherente y antiespumante (aceite de palma, manteca vegetal o cera de

FIGURA 35. Cinta indicadora de pH.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA - Tibaitatá. 2006.

laurel) para homogeneizar la miel y evitar que se queme la panela. No se debe agregar cebo de res a las mieles, pues la grasa animal está prohibida en la elaboración de panela y su presencia en los análisis de laboratorio, causaría su rechazo como alimento para humanos. Así mismo, el aceite de higuerilla o de ricino puede resultar tóxico para los consumidores. La evaporación finaliza cuando se alcanza el punto de panela, el cual se logra a temperaturas entre 120 y 125°C, con un contenido de sólidos solubles de 92 a 95°B.

□ Filtro para mieles

El filtro para mieles tiene la misma finalidad y utilidad que el filtro para jugos. Los filtros son mallas en acero inoxidable o telas para filtro industrial, que se ubican sobre la paila punteadora y sirven para eliminar sólidos suspendidos e impurezas presentes en las mieles.

5.4.3.4 Punteo

El punto de panela se da cuando las mieles alcanzan una concentración cercana a 93°B, para panela moldeada en gaveras, 94°B para moldeo individual o de coco y 95 a 96°B para panela granulada. Un indicativo técnico es la temperatura de ebullición de las mieles, la cual debe alcanzar de 120 a 122°C para la panela gavereada, 123°C para individual y de 124 a 125°C para granulada. Estas temperaturas pueden variar hasta en 2°C, por efecto de la altura sobre el nivel del mar y de la pureza de las mieles.

En los trapiches, por la falta de instrumentos de control, se recurre a la observación de ciertas características como que al tomar una muestra de miel, esta presente una estructura cristalina y frágil o quebradiza, o la viscosidad y adherencia de las mieles.

5.5 ELABORACIÓN DE PANELA

El cierre del proceso de producción de panela, termina con la etapa de elaboración y ésta comprende las siguientes operaciones de proceso:

- Batido
- Moldeo o tamizado (según la forma de presentación del producto).

- Enfriamiento y Secado
- Pesaje y empaque.
- Almacenamiento.

5.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PANELA

La panela se define como un producto sólido obtenido por evaporación del agua de los jugos de la caña de azúcar. La producción de panela granulada se realiza por medio de la agitación de las mieles (jugos deshidratados), con el fin de airearlas y romper las partículas en el momento de la solidificación, hasta obtener gránulos de diversos tamaños que para su clasificación se dividen así: grano fino (tamiz Tyler n° 16), grano grueso (tamiz Tyler n° 3), y boronas o terrones.

5.5.1.1 Valor nutricional

El valor nutricional de la panela depende de las condiciones del cultivo, tales como: variedad de caña, tipo de suelo, características climáticas, condiciones de cosecha y postcosecha (edad, sistema de corte y apronte) y condiciones del proceso de producción. La Tabla 14 presenta los resultados de análisis realizados en laboratorios de CORPOICA-CIMPA entre 1988 y 2004, para panela en bloque y el promedio de muestras de Antioquia, Hoya del río Suárez y Cundinamarca para panela granulada.

La panela está compuesta por varios grupos de nutrientes esenciales en la alimentación humana, representados por los carbohidratos, los minerales, las proteínas, las vitaminas, las grasas y el agua. Dentro de estos, el grupo más representativo es el de los carbohidratos, cuya función es proporcionar al organismo la energía necesaria para su funcionamiento y desarrollo de procesos metabólicos. Los carbohidratos presentes en la panela son: la sacarosa con aproximadamente el 80%, y otros azúcares en menor proporción denominados azúcares reductores o invertidos, como la glucosa y la fructosa, los cuales poseen un mayor valor biológico para el organismo que la sacarosa.

La composición química de la panela difiere del azúcar refinado principalmente por su mayor contenido de azúcares reductores, los cuales poseen un mayor valor biológico que la sacarosa, y además



TABLA 14. Composición de panela en bloque y granulada.

Componente/valor*	Panela en bloque			Panela granulada
	Mínimo	Promedio	Máximo	
Carbohidratos, g/100g	83,5	88,3	92,0	97,0
Sacarosa, g/100g	75,0	79,4	82,2	89,5
Azúcar invertido, g/100g	7,8	8,5	9,2	6,0
N ₂ total, g/100g	0,05	0,08	0,11	
Proteína, g/100g	0,01	0,46	0,73	0,74
Grasa, g/100g	0,10	0,21	0,49	0,35
Fibra, g/100g	0,01	0,12	0,24	0,01
Ceniza, g/100g	1,04	1,29	1,64	1,7
Minerales en mg/100g				
Potasio	11,5	116,7	173,8	535,0
Calcio	70,0	172,8	391,7	170,0
Magnesio	38,4	61,7	83,4	29,0
Fósforo	45,1	60,4	75,6	133
Sodio	24,5	56,0	110,1	23
Hierro	2,3	5,3	11,5	2,5
Manganeso	0,4	1,2	2,0	
Zinc	0,3	1,5	2,4	2,8
Flúor	5,7	5,7	5,7	
Cobre	0,3	0,4	0,5	0,6
Humedad, g/100g	4,3	7,0	8,3	1,9
Energía en Cal/100g	311,0	321,5	351,0	377,5
pH	6,0	6,1	6,1	6,0

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, E.E. CIMPA. 2006.

por su contenido de minerales y vitaminas cuyo contenido en el azúcar refinado tiende a cero.

5.5.2 ÁREA DE ELABORACIÓN

El cuarto de batido y moldeo es un área independiente del resto de la unidad productora. En esta área se reciben las mieles terminadas para permitir su solidificación hasta alcanzar la forma definitiva de panela. Aquí se desarrollan las operaciones que implican contacto directo entre el personal manipulador con el producto, por lo cual se debe tener especial cuidado para asegurar la inocuidad de la panela.

Los problemas de contaminación que se presentan en esta última etapa, generalmente obedecen a riesgos microbiológicos, los cuales se asocian a enfermedades causadas por microorganismos patógenos. Los microorganismos pueden introducirse en la cadena productiva en cualquier punto de la misma, desde la producción agrícola hasta la etapa de empaque y almacenamiento del producto, como consecuencia de una manipulación inadecuada o el contacto con áreas, equipos y utensilios que se encuentren contaminados.

En el trapiche, se han identificado las operaciones de alto riesgo de contaminación microbio-

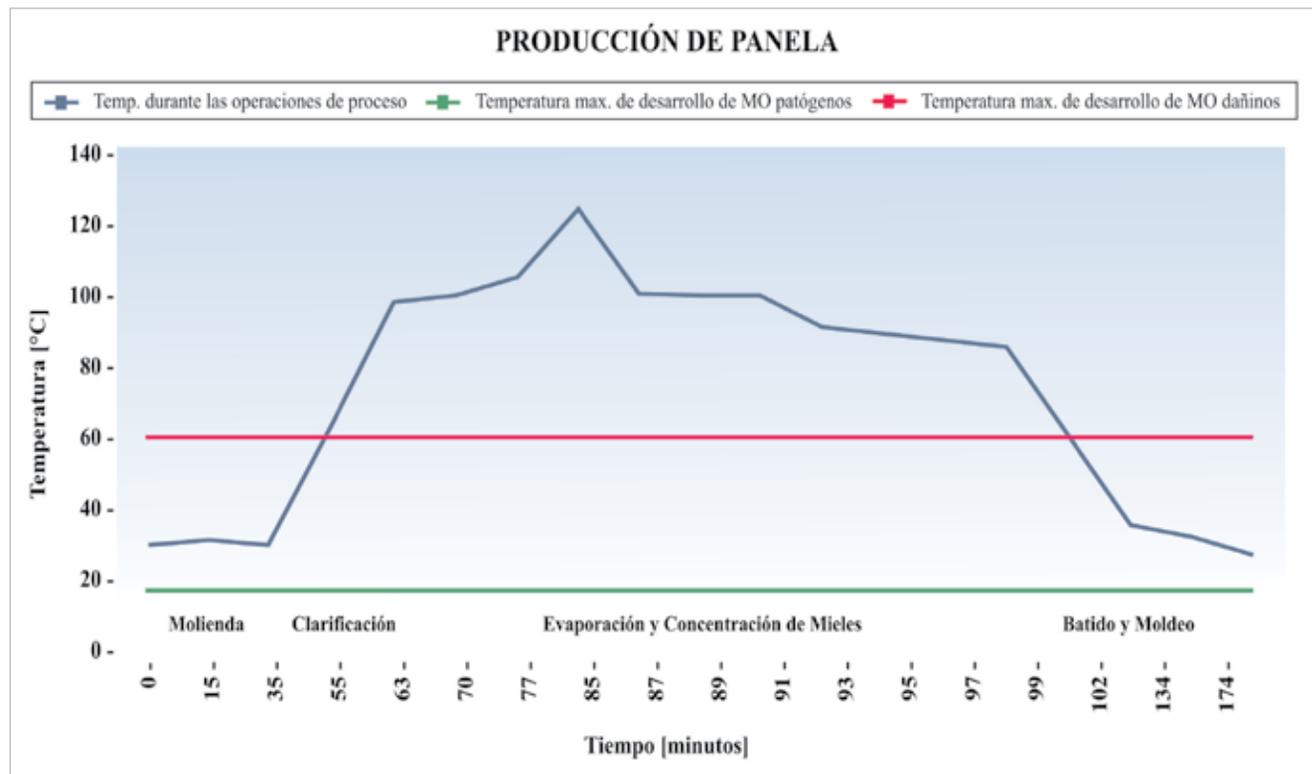
lógica en función de la temperatura que se alcanza durante las diferentes etapas. Como se observa en la Figura 36 las operaciones que se desarrollan entre los 20 y 60°C, son las que presentan mayor riesgo, ya que a estas temperaturas los microorganismos pueden desarrollarse o permanecer latentes. En el inicio del proceso, durante la extracción y prelimpieza, los jugos son susceptibles a la contaminación, pero una vez se inician la clarificación y evaporación, las temperaturas, que oscilan entre los 60 y 125°C, permiten eliminar los posibles patógenos adquiridos en la etapa anterior. No obstante una vez las mieles adquieren el punto de panela, las etapas subsecuentes implican la pérdida de temperatura, con lo cual la posibilidad de contaminación microbiológica reaparece. Es por ello que las operaciones de batido, moldeo o tamizado, empaque y almacenamiento, son de alto riesgo y los microorganismos que lleguen al producto permanecerán hasta el consumo.

5.5.2.1 Consideraciones de diseño del cuarto de batido y moldeo

Para la construcción del cuarto de batido y moldeo es importante tener en cuenta:

- Debe impedir el paso de la humedad generada por la hornilla durante la fase de evaporación.
- Debe ser un área libre de contaminación, animales e insectos.
- Su diseño debe facilitar el lavado y desinfección del área.
- El sitio debe ser cubierto y ventilado, para que permita el paso de la luz natural y la salida del vapor de agua producido durante el batido.
- Los pisos y drenajes deben estar contruidos con materiales resistentes, no porosos, ni deslizantes. Al ser esta un área húmeda debe tener una pendiente mínima de 2% y al menos un drenaje de 10 cm de diámetro por cada 40 m².¹⁰ El sistema de tuberías y drenajes deben

FIGURA 36. Riesgo por contaminación microbiológica durante las etapas de producción de panela en función de la temperatura de proceso.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA - Tibaitatá. 2006.

10 Decreto 3075 de 1997.



tener la capacidad y pendiente requeridas para permitir la salida de las agua. Los drenajes deben estar protegidos con rejillas.

- Las paredes deben ser de materiales no absorbentes, impermeables y de fácil limpieza y desinfección. Se recomienda que sean esmalgadas con cemento y enlucidas con pintura a base de aceite o epóxica que permitan el lavado¹¹. Las uniones entre paredes y pisos deben tener forma redondeada, con el objeto de evitar la acumulación de suciedad.
- Las ventanas deben diseñarse para evitar la acumulación de polvo, suciedades y facilitar la limpieza. Deben estar provistas con malla anti-insecto de fácil limpieza y estar en buen estado.
- Las puertas deben ser resistentes y de suficiente amplitud. Las aberturas entre las puertas exteriores y los pisos no deben ser mayores a 1 cm, para impedir el paso de roedores e insectos.
- Debe contar con un lavamanos, que permita el aseo constante del personal manipulador.
- La iluminación del cuarto de moldeo y las diversas áreas del trapiche deben contar con iluminación adecuada y suficiente, aprovechando en lo posible a luz natural.

La Figura 37 muestra un trapiche tradicional, donde el área destinada para la elaboración de pa-

nela esta incluida dentro del área de proceso y un trapiche en donde se cuenta con un área de elaboración construida de acuerdo a los parámetros y recomendaciones dadas anteriormente.

5.5.3 BATIDO

Una vez se obtiene el punto de panela, la miel proveniente de la hornilla se deposita en una batea, donde por acción del batido intensivo e intermitente la panela se enfría, pierde su capacidad de adherencia y adquiere la textura necesaria para el moldeo o tamizado. En el caso de mieles para panela granulada, el batido requiere movimientos continuos y de mayor intensidad, por un periodo de tiempo prolongado hasta que se adquiera la textura de grano (Figura 38).

Teniendo en cuenta que el área para obtención de mieles y de elaboración, son áreas independientes, es necesario contar con una compuerta para el paso de las mieles a la batea (Figura 38). Esta compuerta se diseña con base en: el ángulo que conservan las áreas de procesamiento y elaboración, el cual permite que las mieles fluyan de forma natural; la altura de la batea o tacha y la altura que debe conservar la compuerta respecto al suelo, con el objetivo que para el operario sea fácil pasar las mieles y

FIGURA 37. Área para el batido y moldeo en un trapiche tradicional y mejorado por CORPOICA.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales CORPOICA - C.I. Tibaitatá 2006.

11 MEC panela Corpoica – CIMPA, 2004.

FIGURA 38. Batido y descarga de las mieles para panela en bloque y granulada.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA - C.I. Tibaitatá 2005.

pueda mantener una posición ergonómica adecuada.

□ **Diseño de la batea o tacha**

Si bien la gran mayoría de los trapiches poseen bateas en madera, se recomienda fabricarlas en acero inoxidable por su resistencia al desgaste por el uso y a la corrosión y por la facilidad de lavado y buen aspecto e inocuidad para la panela. Las bateas de madera presentan problemas de contaminación porque conservan la humedad

(favoreciendo el crecimiento de hongos) y restos de panela de molindas anteriores (que atraen abejas e insectos) y dejan residuos de madera en la panela (Figura 39).

5.5.4 MOLDEO

El moldeo es la última operación de proceso para las formas de presentación de panela en bloque, redonda o pastilla. Cuando la miel ha sido batida, se airea y adquiere una nueva textura, es el momento de pasar al moldeo el cual se puede hacer con mol-

FIGURA 39. Bateas en acero inoxidable diseñadas por CORPOICA.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – Tibaitatá, 2006.



des individuales o en gaveras, distribuyendo las mieles de forma uniforme, mediante una tableta o “cuchillo” de madera.

Cuando la panela se enfría y adquiere su forma sólida definitiva y la consistencia necesaria para el desmolde, los moldes se retiran, se les limpia de boronas de panela y se llevan a un pozuelo o tanque para lavarlos. Posteriormente se escurren y emplean nuevamente.

❑ Gaveras

Las gaveras son moldes en madera, utilizados para lograr que las mieles al solidificarse alcancen la forma de bloque o pastilla. Las formas de presentación y tamaño de la panela, varían según el diseño de los moldes. Actualmente se comercializan la panela redonda, en cuadro y en pastilla (Figura 40).

❑ Remillones, remellones o cazos y palas

Los remellones, remillones o cazos son utensilios empleados para pasar los jugos y mieles en las diferentes operaciones del proceso. En general, son un recipiente de corte semiesférico o de corte de tronco de cono, colocados en la punta de una vara de unos 2 metros de larga. Se construyen en lámina galvanizada (que contamina la panela), en aluminio y en acero inoxidable, que son los más recomendables (Figura 41). Las palas sirven para sacar las mieles de las bateas y se recomienda construirlas en acero inoxidable.

❑ Pozuelo

El pozuelo es un tanque para el lavado de gaveras y demás utensilios empleados durante el moldeo. Deben estar contruidos en materiales de fácil limpieza y desinfección y contar con una entrada de agua continua y un desagüe. No deben operar bajo condiciones inadecuadas de higiene, ya que los equipos y utensilios que en este tanque se lavan, están en contacto directo con la panela y pueden contaminarla. En la Figura 42 se presenta un pozuelo para lavado de las gaveras, de un trapiche tradicional y, un tanque en acero inoxidable diseñado por el Programa de Procesos Agroindustriales de CORPOICA.

5.5.5 TAMIZADO

Para las formas de presentación de panela granulada y pulverizada, luego del batido, se realizan una serie de operaciones orientadas a alcanzar un tamaño de partícula adecuado para el empaque.

El tamizado consiste en separar las partículas grandes de las más pequeñas, clasificándolas mediante zarandeo, utilizando una malla de acero o bronce fosforado N° 8 (ocho huecos por pulgada lineal) y alambre calibre 24. La zaranda plana es la más recomendable cuando va a ser accionada manualmente; si es una zaranda mecánica es mejor la de forma cilíndrica. La zaranda manual se sujeta por los extremos y con movimientos cortos

FIGURA 40. Moldeo en gaveras tradicionales.



Moldeo panela cuadrada

Moldeo panela redonda

Moldeo panela en pastilla

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006.

FIGURA 41. Remillón o remillón.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA - Tibaitatá. 2006.

en diferentes sentidos, se logra que los granos más finos pasen a través de la malla (Figura 43). La panela tamizada se separa en dos grupos: la de grano más fino en un mesón para su empaque y las boronas o de grano más grueso se pasan a otra mesa para ser triturados hasta que alcancen un tamaño de partícula adecuado para el empaque (Figura 43). Otra opción es comercializar la panela más gruesa como granular.

5.5.6 SECADO Y ENFRIAMIENTO

Antes de pesar y empaclar la panela se debe permitir su enfriamiento y secado total, bien sea por convección natural (cuando la panela se seca sobre

FIGURA 42. Pozuelo tradicional y en acero inoxidable diseñado por CORPOICA para lavado de gaveras.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA - Tibaitatá. 2006.

FIGURA 43. Tamizado de panela y triturado de borona.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá 2006.



un mesón) o por secado mecánico (Figura 44), teniendo en cuenta que la temperatura del aire de secado no supere los 40° C para evitar problemas de compactación, en el caso de la panela pulverizada. El enfriamiento y secado de la panela, son necesarios para evitar problemas posteriores de condensación de humedad y desarrollo de microorganismos en la panela en bloque y de compactación en la granulada. Para el enfriamiento y secado natural de la panela granulada, el material se extiende sobre un mesón y se mueve con un rastrillo, durante unos 18 minutos, aproximadamente.

5.5.7 EMPAQUE

La panela es un producto con cualidades higroscópicas, lo cual significa que absorbe o pierde humedad, de acuerdo con las condiciones del medio ambiente. La higroscopicidad depende de la humedad de la panela y de la temperatura y humedad relativa del medio ambiente. La panela granulada o pulverizada tiene un contenido de humedad (cerca de 2%), más bajo que la de bloque (6 a 8%) y por esto tiene mayor capacidad de absorción de agua y debe ser mejor protegida. Así mismo, en

una ciudad como Bogotá, ubicada en una región con una humedad relativa cercana al 70%, la panela expuesta al ambiente se conserva más y mejor que una panela que se mantenga en regiones cuya humedad se encuentre en el orden del 80 al 85%.

La panela se debe empaque en materiales con características físicas que no permitan su interacción con el ambiente (Figura 45). Si no es posible aislar la panela mediante un empaque hermético, la panela en bloque se debe almacenar en un ambiente con humedad relativa inferior al 65%, y temperatura ambiente¹². Para panela granulada, la humedad de equilibrio es inferior al 30% y por eso sale más barato buscar empaques con muy baja transferencia de humedad a tratar de acondicionar el aire de la bodega. Así mismo, esta panela al finalizar el proceso debe empaquearse lo más pronto posible, porque gana humedad en forma acelerada en las condiciones del trapiche.

En la actualidad la panela en bloque a nivel de mayoristas es comercializada en cajas de cartón y al detal se han introducido materiales que le ofrecen mayor durabilidad al producto¹³. Los materiales que mejor conservan la humedad, los grados Brix, el pH y que poco favorecen la inversión de la sacarosa, son el polietileno coextruido y el cryovac, los

FIGURA 44. Secado y enfriamiento de la panela.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006.

12 Macías B. García H. y, Gálvis A. Determinación de las curvas de humedad de equilibrio de la panela. Tesis de grado. Universidad Nacional. Ingeniería Agrícola. 1993.

13 CAPOTE, Adriana - CARRANZA, Luisa. Estudio técnico para la implementación de un empaque para panela a nivel de pequeño y mediano productor. Bogota D.C., 2000.

FIGURA 45. Empaque y pesaje de panela.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA - Tibaitatá. 2006.

cuales conservan la panela durante más tiempo y en mejores condiciones. El material más eficiente para panela granulada es el laminado de Polyester- Tereftalato de polietileno- Polietileno (PPMet), seguido del Polipropileno Biorientado (PPBO). Sin embargo, se recomienda utilizar el PPBO porque es un material menos costoso y es viable para una mediana y pequeña producción (Figura 45).

5.5.7.1 Empaques biodegradables

Para mercados de exportación, los productores de panela ecológica deben explorar las opciones de empaques biodegradables, teniendo en cuenta

que los consumidores de esta línea de productos pagan un poco más para preservar el ambiente. Dentro de las opciones se destaca el polímero Biomax®, el cual, como se muestra en la Tabla 15, por sus características de barrera podría ser ensayado tanto para el empaque de panela en cuadro como para la granulada. Este producto es fabricado por Dupont y es un polímero basado en la tecnología del poliéster polietileno tereftalato, es completamente hidro/biodegradable y no causa efectos adversos al ambiente. Exhibe casi las mismas características del polietileno y su vida útil es de seis a doce meses, de acuerdo a las condiciones de almacenamiento.

TABLA 15. Transmisión de oxígeno y vapor de agua en materiales escogidos y polímeros biodegradables

Material	Transmisión de oxígeno [cc/24hr/m ²]	Transmisión de vapor de agua [gm/24hr/m ²]
Polietileno metalizado	< 1200	1,1
Cryovac	8,548	2,18
Biomax®	2,2	5
Polipropileno biorientado	1800	5,6
PLA polymer 4041 D Biaxially Oriented films	550	128
PLA polymer 4040 D Biaxially Oriented films	550	128

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006



Empresas como Cargill Dow LLC de Minneapolis, Novamont SpA de Novara, Italia y el grupo alemán BASF utilizan también envases biodegradables hechos fundamentalmente con almidón de maíz. Algunos investigadores sostienen incluso que estos envases son de hecho competitivos en precio si se tienen en cuenta los costos ambientales que implican las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero, el consumo de energía en la producción y el ciclo de vida total.

Cargill Dow tiene en el mercado una nueva línea de plásticos bajo la línea NatureWorks™ PLA, los cuales tienen como características generales su versatilidad y procesabilidad. Pueden ser extruidos, orientados, termoformados y dan cobertura, claridad y brillo equivalente a PP orientado y PET. Así mismo, tienen buena barrera a aromas, temperatura de sellado baja, cristalinidad que puede ser modificada a las necesidades del producto, resistencia a la extensión y a grasas y aceites, de fácil impresión y completamente biodegradable.

5.5.7.2 Reglamentación

La panela en bloque se empacaba anteriormente en hojas de plátano, “rusque” u hoja de caña, costales y últimamente en cartón y plástico termoencogible. No obstante a partir de la entrada en vigencia del reglamento técnico para empaque de panela a granel, se han establecido las siguientes condiciones:

- La panela se debe empacar en cajas de cartón (el cual debe ser de primer uso), para aislar el producto de la humedad, golpes y de sustancias contaminantes y el empaque debe ser reciclable.
- Se prohíbe empacar la panela en materiales vegetales, como rusque costales o material no sanitario.
- Solo se permite el reempaque de panelas en establecimientos autorizados por Entidades Territoriales de Salud y procedentes de trapiches que cumplan con los requisitos sanitarios establecidos en el reglamento técnico de la resolución para fábricas de alimentos.

El empaque además de contribuir a mantener la calidad e inocuidad de la panela, es fundamental para la identificación del producto, gracias al rotulo o etiqueta. La etiqueta es el material escrito, impreso o gráfico, que se encuentra grabado, adherido o adjunto en el envase o empaque del producto y que contiene la información necesaria para determinar su origen y las características más importantes de composición certificada.

Un lote es una cantidad definida de alimentos producida en condiciones esencialmente idénticas y de cada lote debe llevarse un registro legible con los detalles pertinentes de elaboración y producción.

□ Rotulado

La información que debe contener el rotulo del empaque es la siguiente:

- Nombre completo del producto e ingredientes.
- Marca comercial.
- Nombre y ubicación del trapiche panelero.
- Número de lote o fecha de producción.
- Condiciones de conservación.
- Declaración del contenido neto, de acuerdo con la normatividad vigente.

En el caso de la panela destinada para exportación, el rotulado debe ajustarse a las exigencias del país de compra.

Cuando no se pueda identificar el número de lote o fecha de producción de la panela, quien la almacene, transporte, reempaque, distribuya o comercialice, debe portar la respectiva factura de compra en donde se indique el lugar de procedencia, el trapiche productor y cantidad del producto. Estas facturas deben permanecer a disposición de las autoridades sanitarias competentes.

En el rotulado de los envases y embalajes de la panela se prohíbe el empleo de:

- Frases, emblemas, palabras, signos o representaciones gráficas que puedan inducir a error o engaño.
- Referencias, consejos, advertencias, opiniones o indicaciones que puedan sugerir que el producto tiene propiedades medicinales, preventivas o curativas o indicaciones terapéuticas.

5.5.8 PESAJE

Con el objetivo de garantizar al consumidor el contenido neto del producto, es necesario establecer el peso de cada unidad para la venta. Para tal fin se emplean balanzas que pueden ser de gran a mediana precisión, dependiendo si se empaacan unidades pequeñas o no.

5.5.9 ALMACENAMIENTO

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 la absorción de humedad, la panela se ablanda, cambia de color, aumentan los azúcares reductores, disminuye la sacarosa, condiciones aptas para la contaminación por microorganismos.

❑ Factores que influyen en el deterioro de la panela

Las causas que influyen en la adsorción de humedad y consiguiente deterioro de la panela tienen relación con su composición y el medio ambiente.

La panela con altas concentraciones de azúcares reductores, baja en sacarosa y alto contenido de humedad; es más propensa a la contaminación, debido a que la velocidad de las reacciones químicas de degradación microbiológica o enzimática, que experimentan los productos biológicos, se relacionan siempre con estas variables, principalmente con la actividad del agua y esta es mayor a mayor contenido de humedad. Influyen además factores como la humedad relativa y la temperatura predominantes en el medio donde se almacena el producto.

❑ Manifestaciones de deterioro en la panela

A medida que aumenta la adsorción de humedad, se presenta ablandamiento de la panela por exposición prolongada al ambiente, el contenido de azúcares reductores aumenta, el contenido de sacarosa disminuye y aparecen los microorganismos, presentándose invasión de mohos, levaduras y bacterias, con mayor influencia de los mohos. La temperatura influye en el desarrollo de

los microorganismos, ocurriendo el crecimiento óptimo de bacterias entre 28 y 37°C y mohos entre 25 y 30°C.

❑ Conservación de la panela

La mayor parte de la panela en bloque que se produce en el país, por su alto contenido de humedad (8% cuando proviene de la Hoya del río Suárez y 7% de Cundinamarca) debe ser consumida en un lapso de tiempo de unos 15 días. La panela elaborada en Antioquia, moldeada individualmente (5 a 6% de humedad) tiene una vida útil mayor, cercana a un mes. En general, para almacenar panela con miras a exportación o almacenamiento prolongado, se debe producir con una humedad máxima del 5% y empacarla en materiales con elevada capacidad de aislamiento de la humedad ambiental.

Bajo condiciones climáticas adversas, el aire se debe acondicionar a una humedad relativa menor del 65% y temperatura de 15 a 20 °C, para evitar el deterioro de la panela. El almacenamiento transitorio de la panela se puede hacer en bodegas corrientes construidas en sitios secos, ubicando la panela separada de las paredes y eliminando el intercambio de aire del interior con el del exterior del depósito en horas de alta humedad relativa.

❑ Área o bodega de almacenamiento de panela en el trapiche

Dentro del trapiche es necesario destinar una bodega exclusiva para el almacenamiento de la panela, con área proporcional a la producción. La bodega debe tener ventanas que permitan una buena ventilación cuando hayan condiciones ambientales secas (de las 10 a m a las 4 p m) y aislar el producto el resto del tiempo (Figura 46).

5.6 GESTIÓN PREVENTIVA

Las estrategias de gestión en la UPFT están orientadas a:

- La producción más limpia de panela con el mínimo de riesgos sobre el medio ambiente y al ser humano.
- La minimización de riesgos laborales.



FIGURA 46. Bodega de almacenamiento de la panela.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006.

Esto significa implementar estrategias de gestión para la prevención y minimización de riesgos asociados con el proceso y el producto.

Acondicionamiento del agua de proceso

Como agua de proceso se entiende a toda el agua demandada en la elaboración de la panela, como la necesaria para la preparación de la solución aglutinante y la lechada de cal y la empleada para el lavado de gaveras, pailas y equipos e implementos que entran en contacto con la panela.

Por tratarse de una actividad de procesamiento para la elaboración de un bien de consumo humano, el agua de proceso deberá ser de calidad potable o segura. Se define como agua segura el agua apta para el consumo humano, de buena calidad y que no genera enfermedades y reúne los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, establecidos en

el Decreto 475 de 1998. Es un agua que ha sido sometida a algún proceso de potabilización o purificación casera. Cuando no se cuente con un acueducto que potabilice el agua, se recomienda utilizar una fuente natural de agua y tratarla para hacerla segura mediante un tratamiento físico primario y posteriormente mediante un tratamiento bacteriológico. Una buena fuente de agua en los trapiches es el agua lluvia y por eso se recomienda diseñar un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias.

El tratamiento físico consiste en la eliminación de sólidos, mediante el filtrado utilizando una tela tipo lienzo, etamina, o dacrón hilo, entre otras, que se dobla cierto número de veces (suficiente para eliminar la turbidez pero permitir el flujo) y actúa como filtro. Se debe realizar un ensayo con diversas telas y el agua local. También pueden usarse tanques filtro, con capas de grava y arenas de granulometría descendente en el mismo sentido del agua a tratar.

El tratamiento bacteriológico se refiere casi exclusivamente a la desinfección con cloro, pudiéndose utilizar cloro puro, sales clorógenas o hipocloritos. Las dosis a utilizar generalmente se fijan con base en el cloro residual, calculado como la cantidad de cloro presente en el agua tratada, después de haber transcurrido 30 minutos de contacto entre la solución desinfectante (agua+cloro) y el agua a desinfectar. Este valor se encuentra generalmente entre 0,2 mg/L y 1,0 mg/L¹⁴.

A continuación se describe una metodología sencilla recomendada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) para establecer la cantidad de cloro que se debe aplicar a un determinado volumen de agua a tratar para su adecuada desinfección, con base en la determinación de cloro residual.

5.6.1.1 Determinación de la demanda de cloro residual

❑ Materiales

- Hipoclorito de calcio comercial.
- 11 botellas transparentes de 1 litro

14 Decreto 475 de marzo 10 de 1998 del Ministerio de Salud.

- Yoduro de Potasio en polvo
- Vinagre
- 1 jeringa de 5ml sin aguja
- 1 cucharita
- Solución de almidón

□ Procedimiento

Antes de empezar, se recomienda leer las etiquetas o ficha de datos de seguridad de los productos, en lo que hace referencia a recomendaciones de uso y precauciones que se deben tener en cuenta para la manipulación del producto. Los pasos que debe seguir son:

- a. Tome una de las botellas y prepare una solución de cloro, adicionando a un litro de agua un gramo de hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ en polvo.
- b. Coloque en hilera 10 botellas transparentes de 1 litro (1000ml) cada una.
- c. Empleando una jeringa, agregue a cada una de las botellas la solución clorada que preparó anteriormente así: a la botella N° 1 adicione 2 ml, a la botella N° 2 adicione 4 ml, y así sucesivamente, como se muestra en la columna 2 de la (Tabla 16).
- d. Termine de llenar las botellas con agua hasta completar el nivel (1000ml). Todas las botellas deben quedar iguales. El agua que emplea para llenar las botellas, debe corresponder a una muestra del agua que usted empleó en el proceso de elaboración de panela y debe haber sido filtrada previamente.
- e. Agite las botellas suavemente y déjelas reposar media hora.
- f. Después, agregue a cada botella una cucharadita de yoduro de potasio en polvo y agítelas hasta diluirlo.
- g. Añada cuatro gotas de vinagre y un poco de solución de almidón a cada botella y agite nuevamente. El agua de las botellas toma un tono azul. A mayor cantidad de cloro, mayor es la intensidad del color.

Cuando llegue al último paso, escoja la botella que presente el color azul más tenue.

Una vez establecida la cantidad de cloro para desinfectar un litro de agua, se hace el cálculo para

el volumen de agua a tratar, de acuerdo con el volumen del tanque en metros cúbicos y de acuerdo con la columna 3 de la Tabla 16

La solución de cloro debe usarse dentro de los seis días siguientes. Al cabo de ese tiempo debe ser remplazada por otra nueva, ya que puede perder su poder desinfectante

5.6.1.2 Almacenamiento de agua segura

La UPFT debe disponer de un tanque o depósito de concreto o plástico, con tapa, para almacenamiento del agua tratada (agua segura) y este se debe limpiar y desinfectar periódicamente según el programa de limpieza establecido. La capacidad de almacenamiento debe ser suficiente para atender como mínimo las necesidades correspondientes a un día de producción y es necesario complementarla con el agua proveniente de un acueducto. La Tabla 17 presenta el requerimiento en cuanto a la capacidad de almacenamiento del tanque de agua, en función de la capacidad de producción del trapiche.

TABLA 16. Número de mililitros de solución de cloro por botella.

No. de la Botella	Mililitros de solución de cloro por botella de 1 litro	Litros de solución por m ³ de agua en el tanque
1	2	2
2	4	4
3	6	6
4	8	8
5	16	16
6	24	24
7	32	32
8	40	40
9	48	48
10	56	56

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006.



TABLA 17. Capacidad para el tanque de almacenamiento de agua.

Producción del trapiche [kg panela/hora]	Capacidad del tanque [litros]
50 – 90	2000 – 3000
91 – 120	3000 – 5000
121 – 300	> 5000

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006..

5.6.2 CONDICIONES PARA EL PERSONAL MANIPULADOR DE ALIMENTOS

Con el objeto de evitar al máximo la contaminación, el personal que se encuentra dentro del área de proceso debe cumplir con los siguientes requisitos¹⁵:

- Los operarios deben tener uniformes limpios y en buen estado y mantener una esmerada limpieza e higiene personal.
- Aplicar buenas prácticas higiénicas en sus labores como lavarse las manos con agua y jabón y mantener las uñas cortas, limpias y sin esmalte y no usar joyas, ni comer, ni fumar o beber en las áreas de proceso de la panela.
- Todas las personas que realizan actividades de manipulación de la panela, deben tener capacitación en prácticas higiénicas de manipulación de alimentos¹⁶.
- Los trapiches paneleros deben tener e implementar un plan de capacitación dirigido a operarios¹⁷, para llevar a cabo las tareas que se le asignen, con el fin de que sepan adoptar las precauciones necesarias para evitar la contaminación del producto.
- Ninguna persona, que padezca heridas infectadas, infecciones de piel, úlceras o diarrea, puede trabajar en áreas de manipuleo de la pa-

nela o en lugares donde exista la posibilidad de que directa o indirectamente la contamine.

- Cualquier persona que tenga una lastimadura o herida no podrá manipular la panela o tocar superficies que están en contacto con ella hasta que la herida esté totalmente protegida con un protector impermeable firmemente asegurado.
- Las personas que tengan contacto directo con la panela o implementos que entren en contacto con la misma, se lavarán las manos antes de comenzar el trabajo y después de manipular cualquier material que pueda contaminar la panela o dichos implementos.
- Los visitantes deberán cumplir con las medidas de protección y control sanitario de cada una de las áreas a las que accedan.

En cuanto vestido y calzado de trabajo para el personal, a continuación se dan las recomendaciones según la labor desempeñada en el trapiche:

- **Trapicheros, bagaceros secos y horneros.** Se recomienda el uso de overol oscuro, con cierres o cremalleras y/o broches en lugar de botones u otros accesorios que puedan caer en el molino, sin bolsillos ubicados por encima de la cintura, de material ligero, amplio, de tejidos que se laven con facilidad y que absorban el sudor. Se recomienda el uso de guantes y botas de cuero, preferible con puntera reforzada. Para los bagaceros secos y horneros se recomienda el uso de tapabocas para evitar que el bagacillo llegue a los pulmones del operario.
- **Paileros, gavereros y empacadores.** Los últimos son los operarios de mayor responsabilidad higiénica ya que entran en contacto directo con el producto terminado, dentro de las temperaturas de riesgo (56 - 18°C); por tanto deben mantener el cabello recogido y cubierto totalmente mediante malla, gorro u otro medio efectivo, usar tapabocas y guantes de tela.

15 Resolución 2546 Ministerio de Protección, Item 3. Personal manipulador.

16 Decreto 3075 de 1997, Título II del Capítulo III.

17 Decreto 3075 de 1997, artículo 14, literal b.

Deben usar overoles amplios y de color blanco o claro, que permitan visualizar fácilmente su limpieza y las características de diseño en cuanto a confort y seguridad industrial deben ser similares a los de los anteriores. En el área de batido y moldeo deben usar botas de caucho o plástico. Pueden utilizar un delantal, el cual debe permanecer atado al cuerpo en forma segura para evitar la contaminación del alimento y accidentes de trabajo.

5.6.3 SEGURIDAD INDUSTRIAL

La seguridad industrial se fundamenta en la protección del trabajador, frente a riesgos potenciales con los que está en contacto directo por su actividad laboral. El trabajo seguro exige la actuación coordinada por parte del empresario y los trabajadores y para ello se toman medidas de protección individual y colectivas tales como: el uso de equipos de protección individual, programas de capacitación sobre el mantenimiento de maquinaria y utilización de equipos, la señalización de seguridad en la planta y la definición de planes de emergencia y evacuación ante posibles accidentes laborales. En el trapiche se han identificado, por áreas de trabajo, los riesgos a los cuales está expuesto el trabajador y se ha establecido el nivel de riesgo para cada uno de ellos (Figura 47).

5.6.3.1 Equipos de protección individual (EPI)

Se define como cualquier equipo o dispositivo y, cualquier complemento o accesorio, destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos (Figura 48).

Características de un EPI:

- No es un útil de trabajo, sino un elemento destinado únicamente para proteger al trabajador frente a un riesgo. Por ejemplo, un guante antitérmico es un EPI; un extintor, no.
- Debe ser llevado o sujetado por el trabajador.
- Es un elemento de protección para el trabajador que lo utiliza, no para productos o personas ajenas (por ejemplo, la ropa y guantes

que usan los manipuladores para proteger los alimentos no son EPI).

- Son considerados como EPI los cascos, protectores auditivos, gafas, pantallas, guantes, calzado y ropa de protección frente a temperaturas extremas; equipos de protección respiratoria, cinturones de sujeción y arneses de seguridad, calzado de trabajo entre otros.

5.6.3.2 Señalización de seguridad en el trapiche

Como ya se ha indicado la señalización es una técnica de apoyo o complementaria de otras medidas preventivas. Es necesario señalar en situaciones como las siguientes:

- Para indicar la ubicación de los equipos de lucha contra incendios así como las vías y salidas de evacuación (señales de panel).
- Para mostrar situaciones de emergencia (comunicación verbal, señales acústicas y/o luminosas).
- Para indicar la obligatoriedad de utilización de equipos de protección individual. (señales de obligación).
- Para informar sobre riesgo de caídas, choques y golpes (señal de panel o señal de color).
- Para indicar la prohibición de acceso a personal no autorizado a determinadas zonas (señales de advertencia de peligro o prohibición).
- Orientación de los trabajadores durante la realización de maniobras peligrosas (comunicación verbal o gestual).
- Indicación de peligro en recintos de almacenamiento de sustancias peligrosas (señales de advertencia de peligro).
- Etiquetado de recipientes y tuberías que puedan contener sustancias peligrosas.

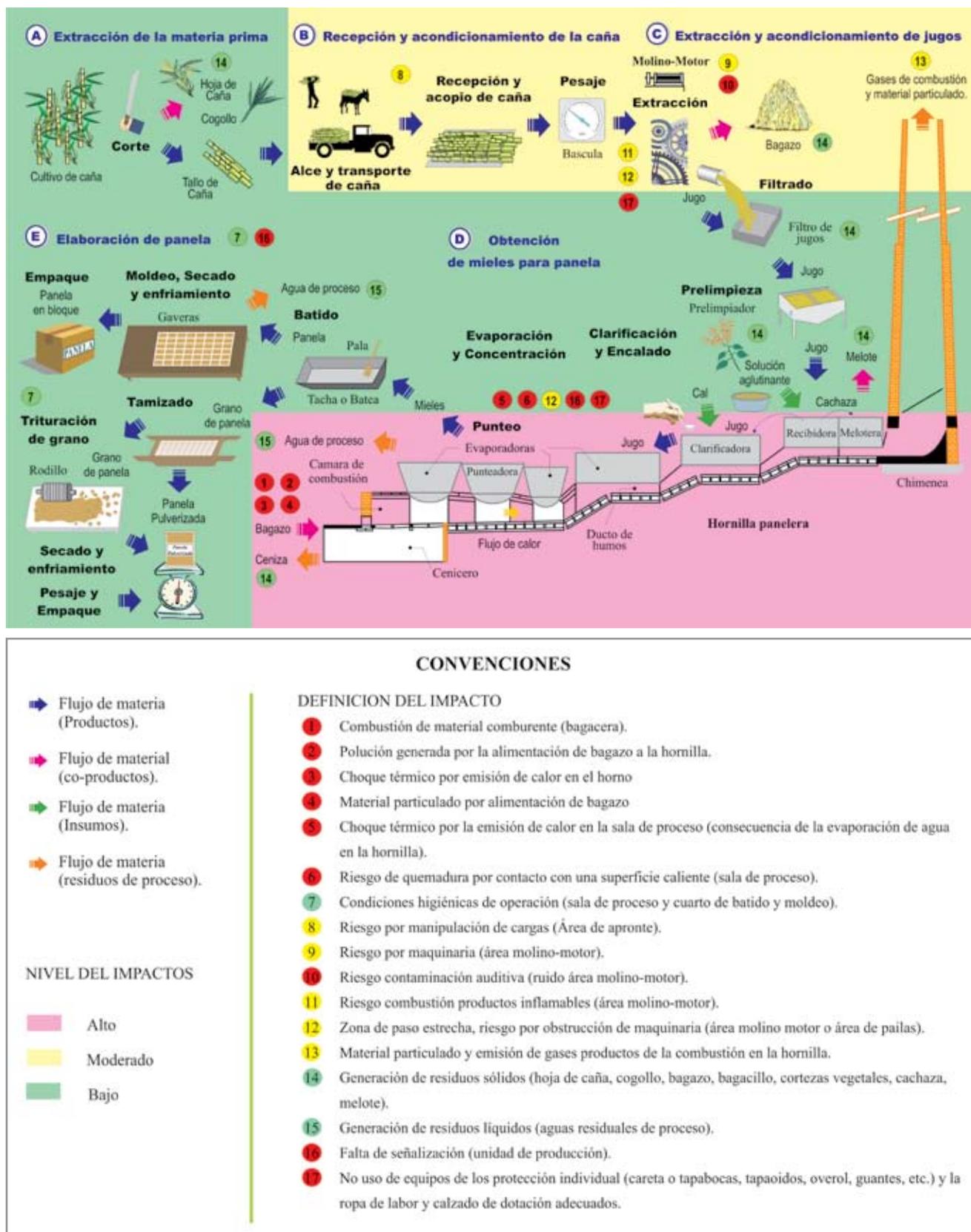
□ Señalización óptica

Sistema basado en la apreciación de las formas y colores por medio del sentido de la vista (Figura 49).

Para la señalización se emplean señales en forma de panel. Estas consisten en pictogramas sencillos y de fácil comprensión. Deben estar construidas en materiales resistentes de forma que



FIGURA 47. Mapa de riesgos de una planta productora de panela.



Fuente: TOSCANO, Adriana. Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA - TIBAITATA, 2006.

FIGURA 48. Equipos de protección individual.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006.

FIGURA 49. Colores de seguridad para señalización óptica en el trapiche.

COLORES DE SEGURIDAD		
COLOR	SIGNIFICADO	INDICACIONES Y PRECISIONES
ROJO	Señal de prohibido	Comportamiento peligroso
	Peligro-Alarma	Alto, parada, dispositivos de desconexión de emergencia. Evacuación.
	Material y equipo de lucha contra incendios.	Identificación y laicalización.
AMARILLO	Señal de advertencia	Atención, precaución. Verificación.
AZUL	Señal de obligación	Comportamiento o acción específica
		Obligación de utilizar un equipo de protección visual.
VERDE	Señal de salvamento o auxilio	Puertas, salidas, pesajes, material, puestos de salvamento o socorro, locales.
	Situación de seguridad	Vuelta a la normalidad

COLORES DE CONTRASTE	
COLOR DE SEGURIDAD	COLOR DE CONTRASTE
ROJO	BLANCO
AMARILLO	NEGRO
AZUL	BLANCO
VERDE	BLANCO

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006.



aguanten golpes, inclemencias del tiempo y agresiones medioambientales.

Las señales deben garantizar buena visibilidad y comprensión, estar a la altura y posición adecuada en relación al ángulo visual, en lugares de emplazamiento iluminados y fácilmente visibles. Se deben evitar emplear varias señales próximas para no saturar el campo visual.

Estas señales se dividen en:

- Señales de advertencia. Son de forma triangular, de pictograma negro sobre fondo amarillo y bordes negros.
- Señales de prohibición. De forma redonda, de pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda rojos.
- Señales de obligación. Son de forma redonda, de pictograma blanco sobre fondo azul.
- Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios. Son de forma rectangular o cuadrada, de pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).
- Señales de salvamento o socorro. Son de forma rectangular o cuadrada, de pictograma blanco sobre fondo verde.

La Figura 50 presenta las diferentes señales ópticas que aplican para la señalización de seguridad en un trapiche panelero.

□ Señales particulares

- Vías de circulación, riesgos de caídas choques y golpes. Se deben demarcar con franjas continuas de un color visible, preferiblemente blanco y amarillo o negro y amarillo.
- Tuberías y recipientes. Deben identificarse por colores, definiendo una nomenclatura dependiendo de la naturaleza del fluido que se transporta (agua, gas, ácido, aceite, etc.).
- Áreas de almacenamiento de sustancias y preparados peligrosos. Deben estar etiquetados por señales de advertencia.

- Equipos de protección contra incendios. Señal de color rojo o en forma de panel.
- Medios y equipos de salvamento y socorro. Señales en forma de panel
- Maniobras peligrosas. Señales gestuales o comunicaciones verbales.
- Marcado de embalajes.

Para reforzar la eficacia de la señalización es indispensable informar por escrito sobre la interpretación, condiciones de utilización y mantenimiento de las señales.

5.6.4 CONDICIONES PARA EQUIPOS Y UTENSILIOS

Las condiciones que deben cumplir los equipos y utensilios para conservar la inocuidad del producto, en el trapiche son¹⁸:

- Los equipos y superficies en contacto directo con la panela deben estar fabricados con material inerte no tóxico, resistente a la corrosión, no recubiertos con pinturas o materiales desprendibles y de fácil limpieza y desinfección.
- La distribución de planta debe tener un flujo secuencial del proceso de elaboración con el propósito de prevenir la contaminación cruzada.
- Los trapiches deben contar con los equipos, recipientes y utensilios que garanticen las buenas condiciones sanitarias en la elaboración de la panela.
- Los equipos escogidos para la producción dependen directamente de la capacidad máxima de producción prevista. Deben estar diseñados, construidos, instalados y mantenidos de forma que se eviten la contaminación del alimento, faciliten la limpieza y desinfección.
- Las tuberías empleadas para la conducción de alimentos (en este caso el sistema conductor de jugos), deben estar construidas en un material resistente, inerte, no poroso, impermeable. El sistema debe ser fácilmente desmontables para su limpieza. Las tuberías fijas se limpia-

18 Resolución 2546 Ministerio de Protección, Item 8. Condiciones del proceso de fabricación - Equipos y utensilios.

FIGURA 50. Señales ópticas en el trapiche.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA – Tibaitatá. 2006.

rán y desinfectarán mediante la recirculación de agua caliente o vapor de agua¹⁹.

5.6.5 SANEAMIENTO

La planta productora de panela debe desarrollar un plan de saneamiento con objetivos claramente definidos y con los procedimientos requeridos para disminuir los riesgos de contaminación de la panela. El plan de saneamiento incluye los siguientes programas de:

- Programa de mantenimiento
- Programa de limpieza y desinfección.
- Programa de control de plagas.
- Programa para el manejo de residuos sólidos y líquidos.

5.6.5.1 Programa de mantenimiento

El objetivo de un programa de mantenimiento de equipos y locales es disponer de un documento en el cual se detallen las actividades de mantenimiento que se consideren necesarias para disponer de equipos y locales que minimicen los riesgos de higiene y faciliten la aplicación del programa de limpieza y desinfección. El programa debe sistematizar las actividades de mantenimiento, de tal forma que siempre se realicen del mismo modo y siguiendo unas instrucciones dadas por los responsables correspondientes.

El programa de mantenimiento de equipos y locales deberá actuar sobre:

- Los equipos (Motor, trapiche) y la hornilla
- Los útiles y utensilios.
- Los locales (enramada, cuarto de moldeo) y bodegas.

El programa de mantenimiento debe detallar para los equipos y locales, las operaciones realizadas (reparaciones, ajustes, engrases, sustituciones, etc.), el método de realización y la frecuencia

con la cual se realizan las operaciones. Así mismo, debe precisarse el método de vigilancia, de modo que pueda comprobarse si las actividades de mantenimiento se han llevado a cabo correctamente. En consecuencia, es necesario precisar el método de control previsto, su frecuencia de aplicación y las medidas correctoras y disposición de los productos no conformes.

5.6.5.2 Programa de limpieza y desinfección

El objeto de un programa de limpieza y desinfección es disponer de un documento en donde se desarrollen cada uno de los procedimientos para la limpieza y desinfección de las áreas de trabajo, equipos y utensilios utilizados en la elaboración de panela, donde se incluya el tipo de agente de limpieza y desinfección (agua caliente, jabón, cloro, ceniza, ácido cítrico, etc.), la concentración o uso (modo de preparación) y el modo de empleo.

Para diseñar un programa de limpieza y desinfección se debe establecer²⁰:

- ¿Qué se limpiará y desinfectará?

El programa inicia con la identificación de las áreas del trapiche y en cada una de ellas los elementos que la conforman, pisos, paredes-polisombras, equipos, techos, etc.

- ¿Con qué se va a realizar la limpieza y desinfección?

En cada área se deben indicar los implementos, detergentes y desinfectantes que se requieren para la higienización, indicando las concentraciones, con que se aplicarán.

- ¿Con qué frecuencia se va a realizar la limpieza y la desinfección de la planta?

Dentro de las actividades de limpieza y desinfección es importante diferenciar la periodicidad

19 Resolución 3075 de 1997.

20 CABALLERO T. Angel, et all. Guía para la confección de programas de limpieza y desinfección en establecimientos de alimentos. Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. Base de datos en línea: www.bvs.sld.cu

de las tareas ya que algunas se deben realizar al tiempo de la producción, otras al inicio y final de la producción y algunas son mensuales o con una periodicidad mayor, según lo que se determine dentro del programa.

- ¿Cuál es la mejor forma de realizar las operaciones de limpieza y desinfección?

Se debe investigar cuál es la mejor forma de preparación de las soluciones de detergentes y desinfectantes, y determinar cada uno de los procedimientos de limpieza y desinfección de cada una de las áreas a higienizar.

- ¿Quién realiza la limpieza y desinfección?

Deben existir responsables directos de la implementación del programa de higienización de la planta. Las responsabilidades se pueden asignar por operaciones o áreas determinadas.

5.6.5.3 Programa de control de plagas

Las plagas suponen una importante amenaza para la seguridad e idoneidad de los alimentos. La composición de las materias primas y de los productos finales es propicia para el desarrollo de las plagas y estas pueden producir infecciones. Para eliminar esta posibilidad es preciso mantener, junto al programa de limpieza y desinfección, un programa de lucha contra plagas. Las plagas más comunes en los trapiches son: roedores (ratas y ratones) e insectos (abejas, cucarachas, etc).

Como medida preventiva específica para evitar la penetración de insectos en los cuartos de batido y moldeo, CIMPA, desarrolló los cuartos de batido y moldeo, poniendo telas mosquiteras y mallas finas en las ventanas. La aplicación de insecticidas está prohibida en áreas donde se manipule o almacene la panela, siendo posible usarlos solamente en locales vacíos y precintados.

El programa de lucha contra plagas contempla de manera detallada:

- Nombre del producto o productos empleados.
- Tipo (composición) y dosis de productos utilizados en cada equipo o local.

- Método y frecuencia con que se realizan estas operaciones.
- Resultado o eficacia de las trampas y número de incidencias que se detecten.
- Personal que se encarga de estas actividades.

Ya que todas las plagas necesitan comida, abrigo y agua, es posible reducir la presencia de plagas por medio de prácticas que les impidan satisfacer sus necesidades básicas. Mantener cerradas las puertas y asegurarse de que las ventanas de malla estén en buenas condiciones impide que las plagas encuentren cobijo; limpiar los derrames de líquidos y boronas les corta el suministro de comida y agua.

Para la prevención y eliminación sistemática de roedores será necesario el uso de cebos o trampas de pegamento. Los productos utilizados para el control de plagas y roedores deberán estar claramente rotulados y no se deben almacenar en el trapiche.

5.6.6 PROGRAMA PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS

En la producción de panela, se generan aproximadamente 500 L de aguas residuales por tonelada de panela durante el lavado de mesones, gaveras y pisos del cuarto de batido y moldeo. Al finalizar la molienda, se suman otros 4 a 10 m³, producto del lavado del equipo de molienda, de las pailas y de pisos del área de hornilla. Esta agua contiene cerca de 0,5% de sólidos disueltos, en su gran mayoría azúcares, que favorecen el crecimiento de los microorganismos. Este 0,5% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada.

Adicionalmente, en la UPFT se generan aguas residuales provenientes de las instalaciones sanitarias, la cocina y lavaderos, que también requieren de un tratamiento para su incorporación al medio, en una forma segura y sin afectarlo. Si las aguas no se tratan, contaminan el suelo de los alrededores del trapiche, producen olores desagradables, favorecen la contaminación cruzada y el crecimiento de insectos, principalmente moscos. En otros casos, cuando el agua residual se arroja a fuentes de agua, esta se acidifica, fermenta y



contribuye al desarrollo de microorganismos, que afectan los otros seres vivos del agua, principalmente insectos y peces, los que mueren por falta de oxígeno. Este proceso se llama eutroficación y en casos extremos, podría producir la muerte de toda forma de vida en un cuerpo de agua. A continuación se presenta un sistema para el tratamiento de aguas residuales, que consta de un tanque séptico, acompañado de un sistema de infiltración de terreno.

5.6.6.1 Diseño de un sistema séptico para disposición de aguas residuales

Los sistemas sépticos tienen como función recibir las aguas provenientes de las cocinas, el baño, los lavaderos, etc., y tratarlas. Están conformados por varias estructuras: un tanque séptico, una caja de distribución, un sistema de zanjas filtrantes y/o un pozo de absorción (Figura 51).

❑ Tanque séptico

Puede ser una caja rectangular de uno o varios compartimientos que reciben las aguas de proceso. Tiene como objetivo reciclar las aguas grises y las excretas para eliminar los sólidos mediante la sedimentación. Luego el líquido clarificado se descarga a un sistema de zanjas filtrantes para su tratamiento (Figura 52).

Deben ser herméticos al agua, durables y estructuralmente estables. Se pueden construir enterrados preferiblemente en concreto reforzado y

ferrocemento. Existen también presentaciones comerciales en plástico (Figura 52). Deben poseer tapas para la inspección y vaciado y un tubo de ventilación para que salgan los gases que se producen dentro del tanque.

El líquido que sale del tanque séptico tiene altas concentraciones de materia orgánica y de organismos patógenos por lo que se debe conducir a pozos filtrantes o a un campo de oxidación para su tratamiento.

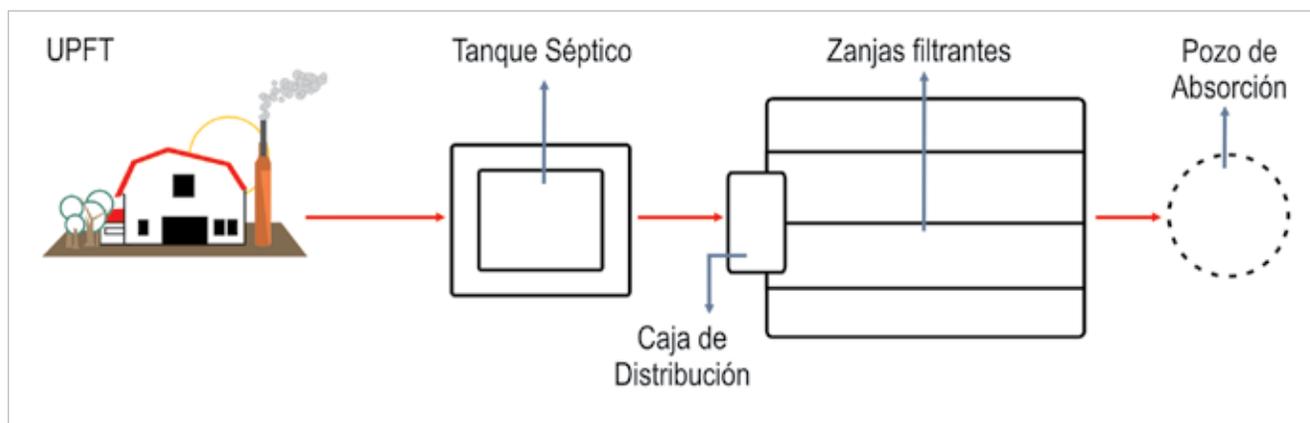
❑ Cajas de distribución

Su función es distribuir el líquido que sale del tanque séptico, en partes proporcionales al número de zanjas de oxidación (Figura 53).

❑ Zanjas filtrantes

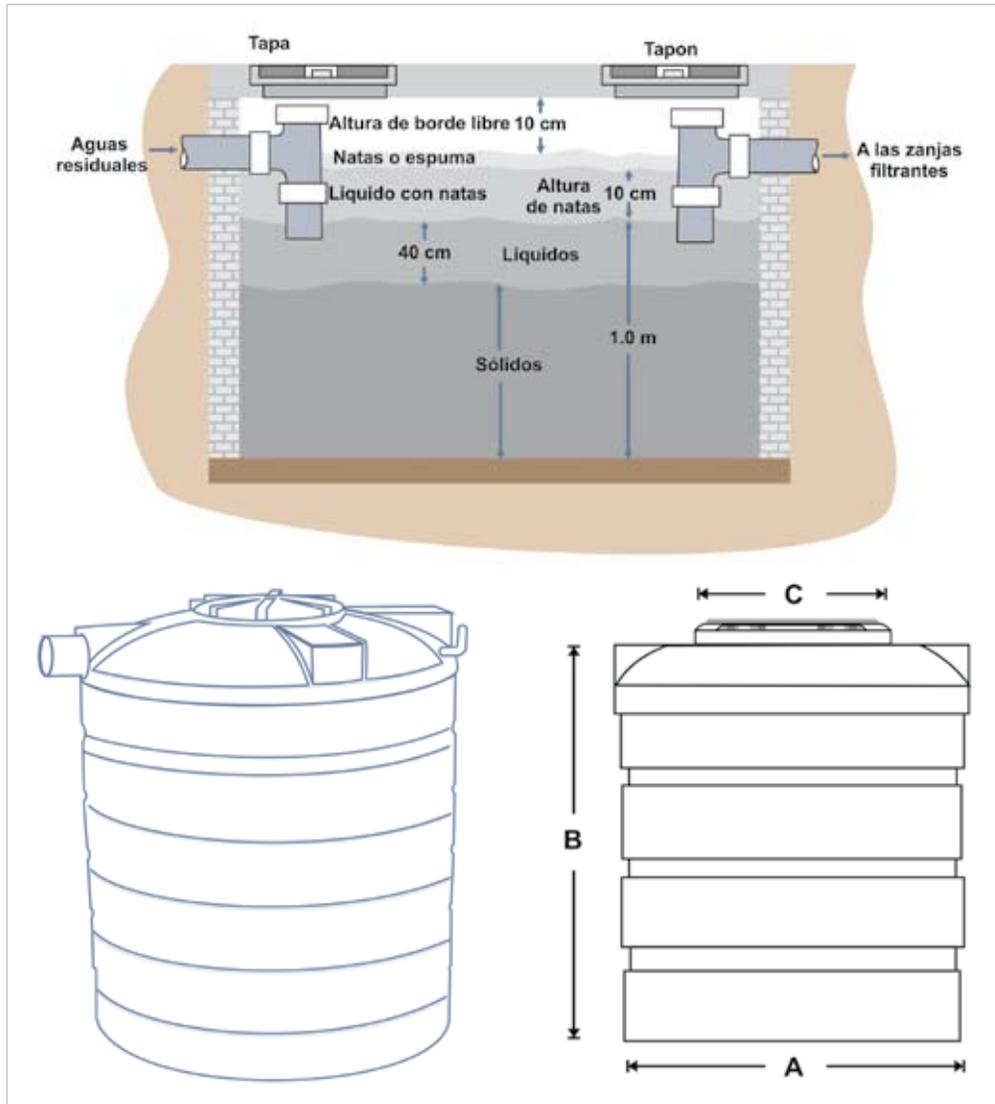
Cuando las condiciones del lugar son óptimas y no hay amenaza para la calidad de las aguas subterráneas, usualmente la infiltración en el suelo es la mejor alternativa para el líquido que proviene de la caja de distribución. Las zanjas filtrantes son zanjas de poca profundidad (<1,0 m) y ancho de 0,45 a 0,8m, excavadas en el terreno, que recogen y distribuyen el líquido a través de una tubería perforada, generalmente de gres, de 0,10 m (4") de diámetro, colocados sobre un lecho de arena y recubiertos de arena o grava. La tubería debe tener una pendiente promedio de 4% para permitir el desplazamiento del líquido. Si existen aguas subterráneas en la zona del campo de oxidación o

FIGURA 51. Sistema para la disposición de aguas residuales.



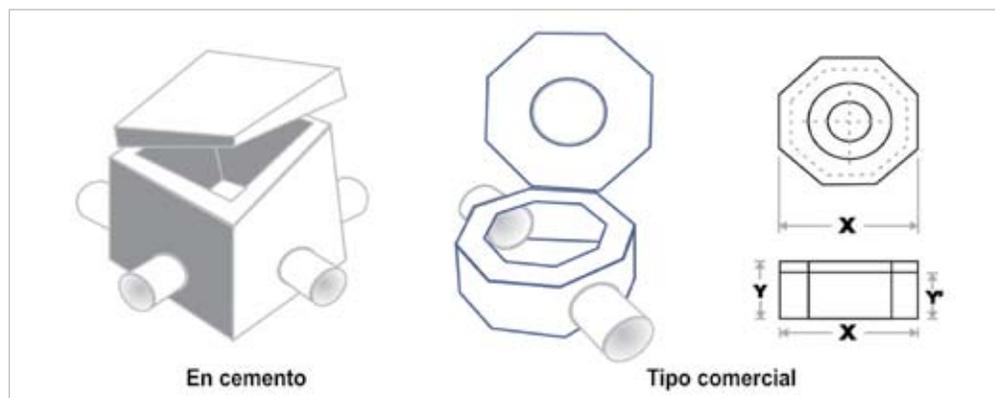
Fuente: Adaptado de Manual de tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. OPS, 2005.

FIGURA 52. Diseño de un tanque séptico.

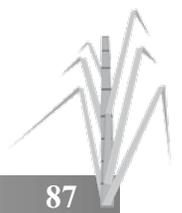


Fuente: Adaptado de Manual de tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. OPS, 2005.

FIGURA 53. Cajas de distribución.



Fuente: Adaptado de Manual de tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. OPS, 2005.



infiltración, el nivel debe quedar por lo menos a un metro de profundidad del fondo de la zanja de infiltración (Figura 54).

El área necesaria para determinar el campo de infiltración de las zanjas dependerá del tipo de suelo y la permeabilidad del mismo (Tabla 18).

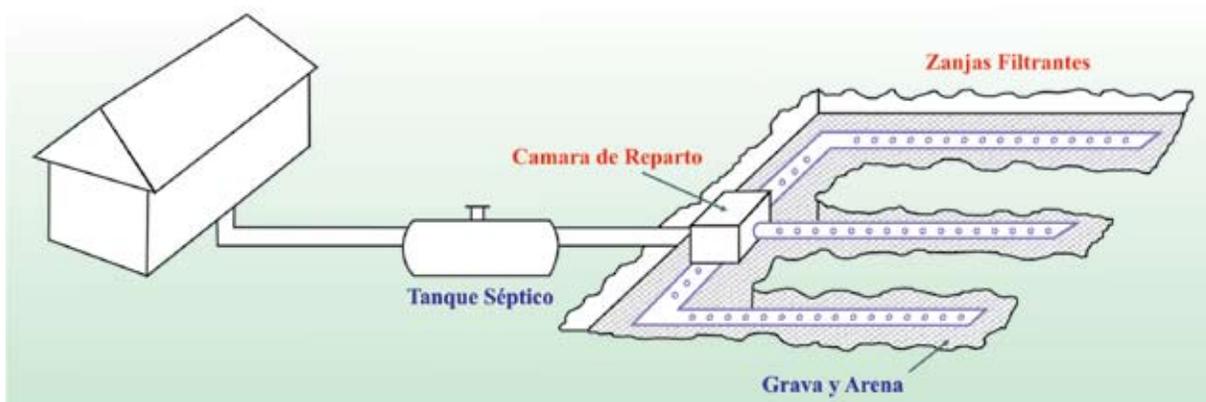
Para el diseño de las zanjas filtrantes se deben tener en cuenta los parámetros datos por la EPA²¹, los cuales se muestran en la Tabla 19.

El espaciamiento entre las zanjas es como mínimo de 1,50 m. Las zanjas filtrantes deben ubicarse lejos de pozos, arroyos, quebradas, etc.

❑ Pozo filtrante

Los pozos filtrantes se recomiendan como alternativa cuando no se pueden usar zanjas filtrantes, donde el suelo permeable es muy profundo o cuando el nivel freático está a más de 4 m de profundidad. El líquido proveniente del tanque séptico pasa a través del pozo hecho con ladrillos o rocas conjuntas abiertas y llega al suelo circundante. Las dimensiones y el número de pozos dependerán de la permeabilidad del terreno y del nivel freático (Figura 55).

FIGURA 54. Sistema de tratamiento de zanjas filtrantes.



Fuente: Adaptado de: Manual de tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. OPS, 2005.

TABLA 18. Relación área de campo de oxidación y tipo de suelo.

Tipo de suelo	Permeabilidad, K (cm/h)	Tasa de aplicación (L/m ² /día)	Área total necesaria (m ² /m ³ /día)
Arenoso-grueso	> 5	57	17,5
Arenoso-fino	3,8 – 5	49	20,4
Franco-arenoso	2,5 - 3,8	41	24,5
Franco	1,9 - 2,5	29	35,0
Franco-arcilloso	1,3 – 1,9	24	49,0
Franco-arcilloso-limoso	0,8 – 1,3	16	61,3
Arcilla no expansiva	0,5 – 0,8	8	122,5
Arcilla expansiva	0,25 – 0,5	4	196,0
Arcilla pobre	< 0,25	3	326,8

Fuente: Recomendaciones para la Disposición de Residuos, Agencia de Protección Ambiental, EPA. USA, 2005.

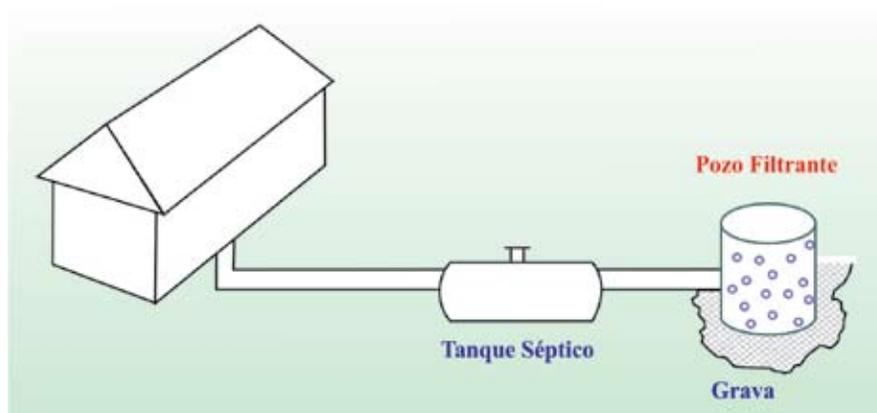
21 Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

TABLA 19. Parámetros de la EPA para el diseño de zanjas filtrantes.

Parámetro	Rango
CH, tasa de aplicación m ³ /m ² /día	0,02 – 0,05
Profundidad de zanja, m	0,60 – 0,90
Ancho de la zanja, m	0,45 – 0,90
Largo de la zanja, m	< 20 hasta 30
Separación entre zanjas, m	De 1 a 2,50
Separación del fondo a nivel freático, m	> 0,60 hasta 1,5
Espesor de cobertura, m	> 0,15 hasta 0,30

Fuente: Recomendaciones para la Disposición de Residuos, Agencia de Protección Ambiental, EPA. USA, 2005.

FIGURA 55. Sistema de tratamiento unido a pozo filtrante



Fuente: Adaptado de: Manual de tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. OPS, 2005.

Se pueden construir pozos de una gran superficie vertical y de esta forma se ocupa menos superficie de terreno que con las zanjas. La distancia entre dos pozos debe ser de por lo menos tres veces el diámetro interno del mayor de ellos. Cada pozo debe tener tapa de inspección. Los parámetros necesarios para el diseño de los pozos filtrantes según la EPA se observan en la Tabla 20:

5.6.6.2 Recomendaciones

- El gasto de agua debe ser racional, de manera que la cantidad de aguas residual generada no

sobrepase la capacidad de diseño del sistema séptico.

- Evitar el vertimiento de compuestos como acetona, aceites, alcohol o líquidos para lavado en seco del tanque séptico, que son difícilmente degradables y contaminan el suelo circundante.
- El tanque séptico se debe inspeccionar por lo menos una vez al año.
- Cuando se abra la tapa de cualquier parte del sistema para inspección o limpieza se debe dejar pasar un tiempo que garantice una adecuada ventilación, porque los gases acumulados

TABLA 20. Parámetros de diseño para pozos filtrantes según la EPA

Parámetro	Valor
CH, tasa de aplicación diaria	1 m ³ /m ² /día
Profundidad del pozo (m)	3 a 6
Diámetro del pozo (m)	1,8 a 3,6
Separación del fondo a nivel freático	> 1,2
Separación entre ejes de pozos (diámetro)	> 4

Fuente: Recomendaciones para la Disposición de Residuos, Agencia de Protección Ambiental, EPA. USA, 2005.

pueden causar explosiones o asfixia. Nunca se debe utilizar cerillas o antorchas para inspeccionar un tanque séptico.

- No se debe arrojar basura que pueda obstruir el sistema.
- Al hacer la limpieza se debe dejar parte de los lodos para que sirva de semilla.
- No se debe lavar ni desinfectar el tanque séptico después de la extracción de lodos.
- Las zanjas filtrantes y los pozos de absorción se deben inspeccionar periódicamente para observar su funcionamiento.

5.6.7 PROGRAMA PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

La deficiente cobertura y ausencia de rellenos sanitarios en áreas rurales localizadas fuera de las grandes ciudades (solo 350 de los 1.086 municipios del país disponen de rellenos sanitarios²²), se constituyen en un problema para la disposición adecuada de residuos sólidos a nivel de la UPFT.

Como residuo sólido se entiende cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de su consumo o uso y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien.

Los residuos sólidos se pueden clasificar en sustancias biodegradables o que se descomponen y no biodegradables los que no se descomponen

fácilmente. Las biodegradables son residuos de origen orgánico como sobrantes de comida, cáscaras, corteza de cadillo o güasimo, heces de animales de la finca, residuos de cosecha, etc. Las sustancias no biodegradables son residuos de origen mineral o de procesos químicos tales como plástico, vidrio, latas etc.

El manejo sanitario de los residuos cuenta con dos fases: acopio y tratamiento o disposición final.

5.6.7.1 Acopio

Como acopio se entienden las operaciones de recolección y almacenamiento de los residuos. Con el objeto de facilitar su tratamiento, los residuos deberán clasificarse y colocarse en diferentes áreas de acopio, contenedores o canecas, de acuerdo a los criterios de reciclaje y/o reutilización de los residuos establecidos en la UPFT.

En la vivienda, en el trapiche y en los establos, deben existir canecas domesticas o industriales, fabricadas en un material impermeable, de fácil limpieza y con protección contra el moho y la corrosión, como plástico, caucho o metal. La altura de la boca debe estar entre 0,75 m y 1,10 m del suelo. El diseño de estos recipientes debe ser tal que, estando cerrados o tapados, no permitan la entrada de agua, insectos o roedores, ni el escape de líquidos por sus paredes o por el fondo. Deben tener un diseño diferente y color característico

22 VELÁSQUEZ, Luisa Fernanda. Superintendencia de Servicios Públicos - Dirección de Aseo. Bogotá (2005).

para clasificar las basuras en biodegradables y no biodegradables.

En las zonas de explotación pecuaria, las áreas destinadas para el acopio del material de cama, deyecciones animales y residuos de comida, varían grandemente de acuerdo con el sistema de tratamiento que se le dé a los residuos y pueden ser expuestas si se hace curado de los materiales o cubiertas para el compostaje de residuos o ubicación del biodigestor.

5.6.7.2 Tratamiento o disposición final

El tratamiento o disposición final que se da a los residuos sólidos varía dependiendo de su naturaleza, es decir si se clasifican como biodegradables o no biodegradables.

□ Residuos sólidos biodegradables

Los residuos sólidos biodegradables deben ser clasificados e incluidos en programas para el aprovechamiento de nutrientes. Aquellos que presenten calidades intermedias (como los residuos de comida y de cocina, residuos de cosecha o subproductos de proceso) pueden emplearse en la alimentación animal. Residuos que presenten difícil digestibilidad o aceptación por parte de los animales, o no contribuyan a satisfacer sus requerimientos nutricionales, pueden ser compostados y empleados como abono orgánico. En el caso de las excretas y deyecciones animales, es posible además del compostaje, emplearlas para la producción de biogás.

□ Residuos sólidos no biodegradables

Estas basuras pueden ser quemadas, enterradas o recicladas para que sean reutilizadas como materia prima de otros productos.

▪ Incineración

La incineración es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante la oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión, compuestos principalmente de óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), partículas, monóxido de carbono (CO), hidrocarburos,

ácidos, metales y vapor de agua (gases de chimenea) y rechazos no combustibles (cenizas).

Los residuos que pueden ser incinerados son: residuos de comida y de jardín, plásticos, productos de papel, maderas y cartón. La altura mínima de la chimenea del trapiche que sea usada como incineradora de residuos sólidos, debe estar de acuerdo con lo establecido en el artículo 40 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud, respecto a la altura mínima de descarga de contaminantes a la atmósfera, o el que lo reemplace.

▪ Enterramiento

Es un procedimiento sencillo, económico y sanitario de disponer los residuos sólidos no biodegradables de la unidad productora. El procedimiento que se sigue es muy simple:

Se excava un hueco 1,20 m x 1,20 m y de 1,50 m de profundidad en un lugar lejos del trapiche, la vivienda y fuentes de agua, de manera que no vaya a causar molestias. Alrededor del pozo excavado se coloca una hilera de bloques formando un brocal que va a servir de base para las tapas del enterramiento domiciliario para impedir el ingreso de aguas superficiales. Se elaboran dos tapas de 1,40 x 0,70 m cada una. Para la mezcla se utiliza una proporción de cemento por tres de arena gruesa. Estas tapas pueden ser elaboradas en ferrocemento (arena, cemento y malla de pollos). Se colocan las tapas encima del brocal. De esta forma se mantiene cubierto el hueco evitando molestias sanitarias.

El procedimiento consiste en vaciar dentro del hueco las basuras producidas en el día e ir tapan-do y compactando con tierra hasta que la basura se cubra totalmente. Cuando la basura llega a una profundidad de 0,40 m con respecto a la superficie del terreno, se sella el hueco con tierra para evitar la proliferación de insectos y roedores. La tapa se retira hacia el otro hueco que se excavará próximo al primero. Las tapas del enterramiento de basura ayudan a evitar el ingreso de aguas lluvias y superficiales, así como la proliferación de plagas.

▪ Reciclaje

El reciclaje consiste en aprovechar y transformar los residuos sólidos recuperados para



devolver a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje consta de varias etapas: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación, acopio, reutilización, transformación y comercialización.

En las unidades productivas, el reciclaje solo se orienta a la separación en la fuente, acción que permite retirar y recuperar de las basuras aquellos materiales que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, tal es el caso de recipientes plásticos y de vidrio.

5.6.8 CONSTRUCCIÓN DE INSTALACIONES SANITARIAS

El trapiche debe disponer de servicios sanitarios, separados de las áreas de producción. Los servicios sanitarios deben mantenerse limpios y proveerse los recursos requeridos para la higiene personal tales como: papel higiénico, jabón e implementos para el secado de las manos. Los servicios sanitarios deben estar conectados a un sistema de disposición de residuos. Se deben instalar lavamanos en las áreas de elaboración o como mínimo en el cuarto de batido y moldeo.

6.

USOS DE LA CAÑA Y SUBPRODUCTOS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

El principio de diversificación no significa exclusivamente la sustitución de una especie por otra, sino que pueden existir alternativas de aprovechamiento de todas las posibilidades de nuevos productos o nuevos usos. Un ejemplo muy actual es el de diversificar el uso de la caña para obtención de alcohol carburante para vehículos, en lugar de destinarla a la producción de panela o de azúcar. En las zonas paneleras, el uso de la caña exclusivamente para alimentación animal es un modelo interesante y digno de evaluar desde los puntos de vista técnico y económico, en aquellas fincas pequeñas y sin trapiche, donde puede ser mejor utilizar la caña en sus propios animales que darla en compañía a los vecinos para producción de panela. En las UPFT, dada la complementariedad del sistema productivo, se pueden aprovechar los subproductos del cultivo (cogollo y caña no apta para panela) y del proceso como cachaza o melote, para establecer programas de producción pecuaria integrados a la producción agrícola y de esta manera incrementar el valor agregado en términos financieros, de empleo, calidad nutricional de la población, conocimiento y ambientales. Este modelo ofrece flexibilidad al sistema productivo y le permite al productor tener mayor estabilidad económica ante las posibles fluctuaciones de precio de la panela²³.

6.1 INSTALACIONES ANIMALES

Los corrales para la explotación pecuaria deben ser prácticos y funcionales; localizadas en terrenos elevados, secos, con suficiente cantidad de agua y pro-

tegidas de factores adversos como el frío y el calor. En climas calidos, la orientación de las construcciones debe ser de oriente a occidente, de tal manera que se pueda aprovechar la mayor cantidad de sombra; en climas fríos la orientación debe ser de norte a sur facilitando la entrada del sol durante el día.

Los materiales mas recomendados para muros son bloque de hormigón, ladrillo, baldosín, viguetes de hormigón armado y paneles metálicos. Los techos deben construirse con materiales de capacidad térmica poco elevada, para evitar las condensaciones de vapor de agua originadas por la respiración animal. Se puede utilizar lámina de asbesto, cemento y aluminio. Los pisos deben tener un desnivel del 5%, tener textura áspera y un desagüe. El corral debe tener buena iluminación y ventilación (Figura 56). Además se debe conocer la dirección de los vientos, evitando que las corrientes de aire lleven los olores a sitios residenciales o al trapiche. Es importante (en el caso de cerdos y aves), que los comederos presenten un diseño adecuado para que el material de la cama no se deposite en estos.

6.2 LA CAÑA DE AZUCAR EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), es una especie importante para la alimentación animal, gracias a su alta capacidad fotosintética y gran área foliar, que le permite captar eficientemente la energía solar para transformarla en biomasa. La caña se puede suministrar durante todo el año a los animales y especialmente al ganado bovino en tiempo de sequía, época en la cual el rendimiento de las otras gramíneas es menor.

23 GARCÍA, B. Hugo. Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA-TIBAITATA, 2006.



FIGURA 56. Corrales para el manejo de animales.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, Tibaitatá, 2005.

La caña es la única gramínea que aumenta su valor nutritivo con la edad de la planta, debido a la acumulación de sacarosa y tiene otras ventajas comparativas como: adaptación a diferentes zonas agroecológicas, amplia capacidad de rebrote, resistencia a plagas y enfermedades, flexibilidad en su uso y preservación de la fertilidad del suelo al incorporar gran cantidad de materias orgánicas.

El cultivo de la caña, se puede orientar para la producción de azúcar, panela, mieles, alcohol carburante o simplemente para la producción de forraje para la alimentación animal. La producción de azúcar se localiza en los departamentos del Valle, del Cauca y Risaralda, en tanto que la producción de panela se halla dispersa en diferentes regiones del país (Hoya del Río Suárez, Cundinamarca, Antioquia y Nariño, entre las más representativas). Dada su amplia capacidad de adaptación, la caña para producción de forraje se puede cultivar entre los 0 y 2.000 m.s.n.m. encontrando un medio óptimo en zonas ganaderas de la Costa Atlántica, Magdalena Medio y Llanos Orientales. En estas zonas su producción es independiente del mercado o de los precios del azúcar y de la panela y la concentración de sacarosa no es un limitante, pues desde el punto de vista de la nutrición de los rumiantes, la energía bruta y metabolizable está dada por los carbohidratos totales (estructurales y no estructurales).

La caña puede constituirse en una alternativa real para la producción pecuaria intensiva, por su

alta eficacia de producción de biomasa, fácil fraccionamiento en azúcares muy digeribles y fibra y adicionalmente porque el 30% de la composición vegetativa de la caña (en términos de materia seca no molible, es decir fuera de tallos) como partes y residuos de cosecha, pueden ser empleados en la alimentación animal, ya sea de forma directa (jugo, tallos, cogollo picado, etc.), ó empleando procesos de habilitación para la degradación y fermentación de estos subproductos (ensilaje, heno-laje, picado, rypiado, preparación de bloques nutricionales, etc).

La caña de azúcar puede utilizarse en una diversidad de formas para la alimentación animal: cultivarse para forraje; el jugo de caña puede suministrarse de forma directa o utilizarse en forma de miel; las hojas pueden servir para forraje; y el bagazo o el bagacillo, para forraje basto o como portador de la melaza. El cogollo de la caña de azúcar constituye un pienso importante y todos los tipos de melaza, se emplean en la alimentación de ganado.

6.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

Cualquier variedad de caña puede ser utilizada para alimentación animal. Sin embargo, en la nutrición

de poligástricos o animales de 4 estómagos, es preferible usar cañas blandas (bajo contenido de fibra), con alta producción de biomasa y de energía por unidad de superficie, buena digestibilidad y asociada con algunas características agronómicas como son: alto poder de germinación y macollamiento, precocidad, alta relación hoja/tallo, amplia distancia entre nudos, bajo deshoje, bajo espigamiento, carencia de pelusa y de borde aserrado.

A pesar de las ventajas comparativas de la caña frente a las otras gramíneas, como se puede observar en la Tabla 21, ésta especie tiene una serie de limitantes de carácter nutricional y fisiológico como son:

- En rumiantes, bajo contenido de proteína bruta, estrecha relación entre los carbohidratos estructurales y los solubles (que inhibe la destrucción de la celulosa en el rumen), desbalance en el contenido de minerales, bajo contenido de grasa y almidón, alto contenido de fibra (que implica mayor tiempo de rumia), lenta reducción del tamaño de la fibra y mayor tiempo de permanencia en el retículo rúmen.
- En alimentación de monogástricos el alto contenido de fibra es un limitante. Por ello, se debe moler la caña y suministrar el jugo, teniendo en cuenta que el consumo de fibra en animales bajo confinamiento no debe ser mayor a 6%, aunque en pastoreo pueden consumir hasta un 10%.

La caña está constituida principalmente por agua, fibra y sólidos solubles (especialmente azúcares); entre estos sobresalen la sacarosa, la glucosa y la fructuosa y tiene otros compuestos, que por las cantidades que aparecen se consideran elementos menores. En la Tabla 21 se aprecia la composición nutricional de caña para alimentación animal.

6.4 COMPONENTES Y DERIVADOS DE LA CAÑA EN ALIMENTACIÓN ANIMAL

En el proceso de producción de la panela se obtienen una serie de productos y subproductos, los cuales, se pueden utilizar como recurso energético en la alimentación animal, tanto de monogástricos como de rumiantes y su éxito dependerá necesariamente de suministrar una ración debidamente balanceada con suplementación proteica, vitaminas y minerales (Figura 57).

6.4.1 COGOLLO, TALLO Y CAÑA INTEGRAL

El cogollo es la parte más tierna de la planta de caña. Es la parte superior del tallo, con dos o tres entrenudos con yemas vegetativas (utilizado frecuentemente por los agricultores como semilla) y las hojas o palma. En él cogollo se concentra la mayor cantidad de azúcares reductores, fibra, pro-

TABLA 21. Composición nutricional promedio de la caña de azúcar para forraje (% B.H.).

Componentes	Contenido
Agua, %	74,50
Total fibra, %	10,00
Total azúcares, %	14,00
Total cenizas, %	0,50
Total compuestos nitrogenados, %	0,40
Total grasas, %	0,20
Total sustancias pépticas y mucilaginosas, %	0,20
Total ácidos (málico, succínico), %	0,12
Total ácidos libres, %	0,08

Fuente: Manual de elaboración de panela y otros derivados de la caña. CORPOICA E.E CIMPA, 1992.



FIGURA 57. Productos, subproductos y usos obtenidos del proceso de producción de panela.

Operaciones de Proceso	Producto	Sub-producto	Usos Sub-producto
 Extracción de la materia prima	Tallo Uso: materia prima de la molienda. Ocasionalmente se emplea para alimentación animal	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas • Cogollo y/o Caña integral 	<ul style="list-style-type: none"> • Compostaje • Alimentación Animal (en fresco y ensilado).
 Extracción y Acondicionamiento de jugos	Jugo Uso: para elaboración de mieles y ocasionalmente para alimentación animal de cerdos y especies	<ul style="list-style-type: none"> • Bagazo • Bagacillo 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible • Compostaje • Alimentación Animal (bloque nutricional).
 Obtención de mieles	Mieles Uso: para elaboración de panela y para alimentación animal.	<ul style="list-style-type: none"> • Cachaza y/o • Melote 	<ul style="list-style-type: none"> • Compostaje • Alimentación Animal
 Elaboración	Panela Uso: alimento de consumo humano.	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2006.

teína y extracto etéreo de la caña. En la Tabla 22 se puede apreciar la composición nutricional del cogollo de caña.

El tallo es la fracción de la planta que se procesa a nivel de ingenio o trapiche para la obtención del azúcar, panela, miel o alcohol; concentra mayor proporción de sacarosa y se compone de la medula y la corteza. En la primera se acumula la mayor cantidad de azúcares totales y en la segunda el contenido de proteína y de extracto etéreo es mayor (Tabla 23).

La producción de caña de azúcar integral y de cogollo varía según la variedad, zona agroecológica, manejo, distancias de siembra, época de corte, fertilización, usos, etc. Los rendimientos de biomasa de la caña varían entre 30 y 120 t/ha, en periodos vegetativos de 8 a 12 meses, para las zonas paneleras con manejos relativamente convencionales, pero se pueden incrementar significativamente. CENICAÑA, encontró que utilizando la variedad PR61631 alcanzaba cerca de 550 t/ha de biomasa, con un periodo vegetativo de 13 meses. Cuando la caña se cosecha para producción de pa-

TABLA 22. Composición nutricional del cogollo de caña.

Componentes	Contenidos en base húmeda (%)	Contenidos en base seca (%)
Humedad	71,97	-
Materia seca	28,03	100,00
Fibra cruda	14,98	58,24
Carbohidratos	9,66	34,45
Proteína Cruda	1,35	4,30
Cenizas	1,56	5,55
Extracto Etéreo	0,40	1,76
T.D.N.	-	58,93
E.D.(Mcal/kg)	-	2,38

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales, CORPOICA - E.E CIMPA, 2005.

nela, la producción de cogollo puede ser del 15 al 25% de la producción de tallos móviles de acuerdo con el estado de madurez de la caña y de las condiciones ambientales. (Capítulo 2, Tabla 4).

La caña integral (tallo, cogollo y hoja) presenta un buen contenido de azúcares(energía) y bajo contenido de nitrógeno (proteína) y se puede suministrar a los bovinos y ovinos en forma fresca o ensilada; con suplementos proteicos; en forma de harina o rypiada (tallos molibles); con pollinaza (del 15-40 % de la ración) y se puede utilizar para preparar saccharina (alimento fermentado y preparado a base de tallos limpios de caña y urea, que luego es molido hasta obtener harina de caña).

6.4.2 BAGAZO Y BAGACILLO

Estos subproductos se obtienen en la molienda de la caña. En los trapiches el bagazo constituye el 40-50% de la caña fresca y se utiliza como combustible para las hornillas y, el bagacillo se obtiene como sobrenadante en los prelimpiadores y es cerca del 1,0 al 3,0% del bagazo total.

En la Tabla 24 se aprecia que el bagazo tiene alto contenido de fibra y bajo de proteína. En su composición predominan los carbohidratos estructurales, ricos en lignina, los cuales limitan su digestibilidad y aporte de energía para los animales, por lo cual su calidad nutritiva es

muy baja. La mayoría de los estudios sobre el bagazo como alimento han mostrado que, en los rumiantes jóvenes, es mayor la energía gastada por los animales para la digestión, que la obtenida del bagazo. La digestibilidad de la materia seca suele ser de sólo un 25%, pero existen grandes diferencias entre individuos respecto a la digestión del bagazo y las fibras más cortas del bagazo suelen aportar 20-25% de nutrientes digestibles. Sin embargo, cuando hay escasez de forraje, el bagazo puede ser valioso y se ha utilizado en proporciones hasta de un 27,5% de la ración para los bovinos de carne, sin que la producción disminuya notablemente²⁴.

El bagacillo presenta un mayor contenido de proteína que el bagazo y menor contenido de fibra. Se utiliza en la preparación de bloques nutricionales, los cuales se usan para suplementar la alimentación del ganado, permitiendo suministrar la urea, melaza y minerales en forma sólida.

6.4.3 JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

El jugo de caña, conocido también como guaparo, se obtiene al pasar los tallos de la caña

TABLA 23. Composición nutricional en base seca del tallo de caña.

Muestra	Materia Seca [%]	Proteína Cruda [%]	Fibra [%]	E,E [%]	Azúcares totales [%]
Médula	22,2	1,43	45,9	0,19	46,0
Corteza	39,1	3,0	69,9	1,04	23,6

Fuente: (CIPAV). Utilización de la caña de azúcar y sus derivados en la alimentación porcina. Año. 2000

TABLA 24. Calidad nutricional del bagazo y bagacillo de caña.

Muestra	Proteína Bruta [%]	Materia Seca [%]	Sacarosa [%]	Fibra Bruta [%]
Bagazo	1,12	61,20	2,85	53,65
Bagacillo	2,2	51,80	-	45,1

Fuente: Albarracín C., Luis C., CORPOICA - C.I. Tibaitatá, 2003.

24 FAO, Sistemas de información de los recursos del pienso.



por el molino. En los molinos de las UPFT se logra una extracción de 50 a 60 kg de jugo por 100 kg de caña. El jugo es un alimento básicamente energético y su contenido de proteína es mínimo. Tiene un 20% de sólidos totales de los cuales el 80% son azúcares solubles, principalmente sacarosa (Tabla 11).

6.4.4 CACHAZA Y MELOTE

La cachaza es un subproducto obtenido en el proceso de producción de la panela, en la fase de clarificación de los jugos. Se usa en alimentación animal solo durante la molienda debido a su fácil fermentación y deterioro. Un método práctico de conservación es convertirla en melote, mediante deshidratación por acción del calor hasta alcanzar de 45 a 60% de humedad y entre 40 y 55° Brix. Su color característico va del verde pardo al café oscuro, de sabor dulce y consistencia espesa y pegajosa. El pH en estado fresco oscila entre 5,1 y 5,5 y tiene una energía bruta que varía entre 3.800 y 4.320 kCal/kg. El contenido de proteína es mayor en el melote que en la cachaza como se aprecia en la Tabla 25.

6.4.5 MIEL DE TRAPICHE

En Colombia cerca de 10.000 ha de caña se destinan para la producción de miel. La mayor parte de los trapiches dedicados a la producción de miel presentan un desarrollo tecnológico menor que los dedicados a la producción de panela. En la mayor parte de los trapiches tradicionales se usa entre 8 y 10 t de caña por t de miel; en los más avanzados se pueden alcanzar hasta 170 kg de miel por tonelada de caña. Antioquia, Boyacá, Casanare y Guaviare encabezan la lista de los principales departamentos productores de miel.

La miel de trapiche es un líquido denso y viscoso de color marrón y aroma agradable, con un contenido de sólidos solubles variable entre 65 y 75 °Brix. Tiene un bajo contenido de proteína y alto de energía (Tabla 26). La mayor parte de los azúcares (80 a 90%) corresponden a sacarosa, pero por el alto contenido de humedad, las mieles presentan la tendencia a fermentarse con el tiempo de almacenamiento y a invertir la sacarosa en azúcares reductores. Por ese motivo las mieles tienden a separarse en 2 fases: una constituida básicamente por sacarosa cristalizada y otra sobrenadante y rica en azúcares

TABLA 25. Composición química y nutricional del melote y la cachaza.

Componente	Melote			Cachaza
	La Mesa	Villeta	Barbosa	
Humedad, %	48,4	59,8	46,1	74,84
Proteína cruda,%	5,7	4,9	5,4	2,83
Extracto etéreo,%	0,27	0,40	1,81	1,18
Fibra,%	1,45	1,56	4	1,54
Sacarosa,%	35,4	38,1	29,1	17,09
Azúcares Reductores, %	2,96	10,59	6,35	2,52
Cenizas,%	4,8	5,04	5,3	1,53
Calcio,%	0,52	0,61	0,36	-
Fósforo,%	0,24	0,15	0,16	-
Potasio, %	0,26	0,34	0,32	-
Energía bruta, MCal/kg.	4,188	3,876	4,320	-
PH	4,75	4,60	5,57	4,98

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA - C.I. Tibaitatá, 2000.

TABLA 26. Composición química y nutricional de la miel de trapiche.

Componente	Contenido
Agua, %	25,0
Proteínas, %	0,7
Grasa, %	0,2
Carbohidratos, %	76,6
Fibra, %	0,5
Ceniza, %	1,0
Calcio, mg/100g	70
Fósforo, mg/100g	40
Hierro, mg/100g	1,5
Tiamina, mg/100g	0,03
Energía, Mcal/Kg	2,85

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA - E.E. CIMPA, 2000.

reductores. Para evitar esta separación se recurre a la inversión de las mieles la cual se puede llevar a cabo por medio de agentes químicos o biológicos. Entre los agentes químicos usados se encuentran el ácido cítrico y el ácido fosfórico y entre los agentes biológicos se tiene la invertasa.

Debido al incremento de los precios de la melaza o miel de purga de los ingenios azucareros, la miel de trapiche se presenta como una alternativa competitiva, para la alimentación directa de los animales o como materia prima para la industria de alimentos procesados. En alimentación directa se usa como suplemento energético, en la preparación de ensilajes y como portante de sales y compuestos nutricionales. En alimentos balanceados se usa como pegante de aglomerados y como fuente de energía.

6.5 FORMAS DE USO Y DIETAS PARA ANIMALES A PARTIR DE LA CAÑA

6.5.1 USOS DEL COGOLLO Y CAÑA INTEGRAL EN LEVANTE Y CEBA DE NOVILLOS

La inclusión de estos materiales en la alimentación de novillos en las fases de levante y ceba,

además de hacer eficiente el proceso desde el punto de vista biológico (ganancias de peso), es una alternativa económica, que genera buenas tasas de rentabilidad y permite aumentar los ingresos de los productores. Dependiendo de la zona y la disponibilidad de forrajes y suplementos minerales, se pueden elaborar algunas dietas para los rumiantes y los resultados van a depender del consumo de materia seca, aportes nutricionales del forraje, requerimientos nutricionales, producción esperada (ganancia diaria de peso esperado) y estado productivo del animal (Figura 58).

En sistemas de levante y ceba de ganado se acostumbra comprar animales de un peso promedio de 300 kg para cebarlos hasta los 450 kg de peso. Se ha calculado que durante este periodo, el consumo de cogollo y caña integral es de 7 y 5% del peso vivo respectivamente, logrando una ganancia de peso de 150 kg en 190 días, para un incremento de 800 g/día por animal, con un consumo de cogollo de 26,5 kg diarios. Por tanto, un novillo consumirá 4,95 t de cogollo durante el periodo de ceba y en las UPFT se podrían cebar entre 3 y 8 novillos/ha/año con cogollo, de acuerdo con los rendimientos del cultivo.

A partir de una producción estimada de biomasa de caña de 130 t/ha/año y un consumo promedio de 18,5 kg/día de caña integral, se presentaría un consumo de 3,5 t en el periodo de ceba por cada novillo y se podría cebar 37 novillos con la biomasa producida en una hectárea. En ensayos realizados en HRS con bovinos cebados de 340 a 470 kg, se reportó una ganancia de 1000 g/día por animal, y un periodo de ceba de 130 días.

En las fases de levante y ceba de ganado bovino en confinamiento o semiconfinamiento (de 300- 450 kg), en las UPFT se vienen estableciendo dietas con base en cogollo fresco o ensilado, caña integral, pasto de corte, pollinaza, repila de arroz, melote, azufre y sal mineralizada. En caso de que no se pueda usar la gallinaza se recomienda utilizar torta de soya y harina de arroz.

El cogollo o la caña integral se debe mezclar, además de los componentes proteicos y sales mineralizadas, con pasto de corte (*king grass*, *maralfalfa*, *imperial* etc.) para mejorar la palatabilidad y aumentar el consumo voluntario de materia seca. Adicionalmente se debe suministrar el bloque nu-



FIGURA 58. Suministro de cogollo en bovinos.



Suministro de cogollo

Cogollo picado y fresco

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

tricional, como se verá mas adelante. En la Tabla 27 se puede apreciar la cantidad a suministrar de estos elementos diariamente a cada novillo, en promedio.

6.5.1.1 Ensilaje del cogollo y de la caña integral

Otra forma de uso del cogollo y la caña integral es el ensilaje; este es un método de conservación de pastos y forrajes basado en la fermentación anaeróbica de la masa forrajera, que permite mantener la calidad durante períodos prolongados de tiempo. La fermentación anaeróbica es realizada por bacterias específicas (bacterias acidolácticas), las cuales transforman los azúcares existentes en ácido láctico.

Para la preparación del ensilaje se toma el material cosechado y se pica en partículas de entre 2 y 3 cm. Para el caso de caña integral se recomienda utilizar aditivos como urea, minerales e hidróxido de sodio, los cuales permiten mejorar la calidad del ensilaje, estabilizar el pH y obtener niveles de ácido láctico por encima del 5%. Después del picar el material se llena el silo haciendo capas de forraje, cuya altura puede variar entre 20 y 30

TABLA 27. Dieta suministrada para bovinos en fase de levante y ceba.

Material	Ración/animal/día
Ensilaje de palma-cogollo, kg	10
Caña integral, kg	15
Pollinaza, kg	3
Melote, kg	1
Repila de arroz, kg	1
Urea, g	100
Sal mineralizada, g	60
Azufre, g	16

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA – E.E. CIMPA, 2005.

cm y luego se sella el silo con plástico; una vez sellado se inician los cambios químicos de la masa forrajera los cuales ocurren durante 15 a 21 días; sin embargo, por seguridad el silo se debe utilizar entre los 25 a 30 días. Las principales características físicas del ensilaje son el color, el cual debe

ser amarillo parduzco, un olor agradable y lo más importante, que esté libre de hongos. Las posibles fallas durante el tapado del silo se pueden evitar, colocando sobre él pesos que mantengan el plástico contra la masa forrajera evitando la formación de bolsas de aire (Figura 59).

6.5.1.2 Cogollo y caña integral suministrada en forma seca

El Cogollo y la caña integral también se pueden suministrar al ganado bovino en forma seca (Ta-

bla 28) la cual se obtiene mediante un proceso de remoción de agua ya sea mediante sistemas mecánicos o naturales.

En los sistemas mecánicos, la energía se transfiere mediante un ventilador, que impulsa el aire a través del material a secar. Este proceso se realiza de día y de noche, independientemente de las condiciones atmosféricas y, la humedad de almacenamiento se alcanza en 4 - 6 horas de secado. Sin embargo, el secado de la caña tallos es más prolongado que el de la caña integral (Tallo y cogollo).

FIGURA 59. Preparación de ensilaje para la conservación de cogollo picado.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

TABLA 28. Composición química y bromatológica de la caña de azúcar (secado natural).

Componentes	Composición en base húmeda (%)	Composición en base seca (%)
Humedad	88	
Materia seca	12	100
FDN	-	50,61
FDA	-	36,69
Carbohidratos	-	43,96
Proteína cruda	-	2,24
Cenizas	-	2,82
Extracto etéreo	-	0,37
E.D. (Mcal/kg)	-	2,069

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA- E.E CIMPA, 2006



FIGURA 60. Secado de la Caña. En sistemas bajo techo y libre exposición.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA - C.I. Tibaitatá. . 2006

En los sistemas naturales, la energía utilizada para el secado es la del ambiente y generalmente se hace en patios, bajo techo o a libre exposición (Figura 60). El tiempo de secado entonces dependerá de la temperatura y humedad del ambiente, del volteo y espesor de la capa de caña. Así por ejemplo, en un patio a libre exposición y con una carga de 5 kg/m², la humedad de almacenamiento se logra en día y medio y, para cargas de 25 kg/m², se logra en 4 días y medio.

El procedimiento para secar la caña, se inicia con el corte de la caña, se apronta cerca al sitio donde esta ubicada la pica pasto o rpiadora, luego se pasa el material por cualquiera de estas dos maquinas, obteniendo partículas finas de 2 – 3 cm; este material se lleva al patio o a la secadora. Por cada tonelada de caña seca a obtener, se requieren 3 toneladas de caña fresca.

El aporte de energía metabolizable de una caña seca es de 2,06 MCal/kgMs, es decir que una tonelada de caña seca con 88% de materia seca, aporta 1.820 Mega calorías, lo cual equivale a decir que una hectárea de caña, con una producción de 130 toneladas de biomasa aportan 236.600 Megacalorías.

6.5.2 BLOQUES NUTRICIONALES

El bloque nutricional es un suplemento alimenticio de fácil elaboración y almacenamiento y se prepara para proporcionar al animal nutrientes

secundarios, necesarios para el buen desarrollo del animal. Es un bloque sólido, compacto, el cual tiene los elementos que se presentan en la Tabla 29.

TABLA 29. Composición de los bloques nutricionales, materias primas para elaborar 100 kg.

Materia prima	Cantidad (kg)
Melaza o Melote	50
Urea	10
Cal apagada	10
Fosfato Bicálcico o harina de huesos	5
Sal común	4,9
Azufre	0,1
Bagacillo	20
Total	100

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

Su preparación es muy simple: en un recipiente se mezcla la urea y la melaza sin utilizar agua, hasta lograr un producto homogéneo. Se mezclan de manera uniforme los demás ingredientes (bagacillo, cal, fosfato, sal y azufre) y se les agrega poco a poco la mezcla urea-melaza. Posteriormente, esta mezcla se amasa fuertemente hasta obtener un producto semisólido que facilite el moldeo. Este se hace en moldes de plástico, madera o metal, compactando muy bien la mezcla, para sacar el ai-

re. El bloque se mantiene en los moldes en reposo por 2 ó 3 días para lograr un buen curado antes de suministrarlo al ganado (Figura 61).

6.5.3 ALIMENTACIÓN DE CERDOS CON MELOTE Y JUGO DE CAÑA

El jugo de caña y el melote, se constituyen en una alternativa para las UPFT mediante el establecimiento de programas de producción de porcinos, en especial en épocas de bajos precios de la panela

y es una forma de diversificar los ingresos de su finca, reducir los costos de producción y obtener un valor agregado a todo el proceso de producción de la panela.

En la Tabla 30 se presentan los resultados obtenidos por CORPOICA con el programa de alimentación de cerdos a base de jugo de caña y melote con suplemento proteico del 35%, versus un programa de alimentación basado en una dieta exclusivamente con concentrado. Como se observa las diferencias en la ganancia de peso diaria por

FIGURA 61. Elaboración de bloque nutricional a partir de bagacillo.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá 2005.

TABLA 30. Levante y ceba de cerdos con melote, jugo de caña y suplemento proteico del 35%.

Parámetro	Dieta a base de concentrado	Dieta suplemento y melote	Dieta suplemento y jugo
Peso vivo, kg			
Inicial	20	14	20
final	95	90	95
Ganancia total, kg	75	75	75
Ganancia, g/día	750	752	750
Consumo total/animal/periodo de levante			
Jugo fresco, litros	-	-	720
Melote	-	167	-
Suplemento, kg	-	70	72
Concentrado, kg	186	-	-
Periodo de levante (días)	100	100	95

Fuente: Albarracín C., Luis C., CORPOICA - C.I. Tibaitatá, 2004.



cerdo en los 3 sistemas es mínima, sin embargo el hecho de utilizar subproductos del proceso de elaboración de la panela, como es el caso del melote o jugo de caña, se constituyen en un ahorro por la compra de insumos para el programa de alimentación de cerdos (Figura 62).

La explotación del pollo de campo, en las UPFT, se basa en sistemas semi-intensivos, cu-

yo objetivo es la obtención de un animal de alta calidad y diferente al pollo asadero o parrillero. El crecimiento del pollo de campo puede ser más lento, alargando su ciclo a 7 o 9 semanas, aumentado ligeramente el costo de producción pero obteniendo un pollo más natural, más grande, y de mejores características organolépticas (Figura 63).

FIGURA 62. Cerdos alimentados con subproductos del procesamiento de la caña.



Cerdos Alimentados con Melote



Cerdos alimentados a partir de Jugo de Caña

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

FIGURA 63. Pollo blanco, alimentación a partir de melote.



Pollo blanco alimentación con melote



Melote de caña

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

En los programas de alimentación se emplea el mismo pollo blanco o broiler que se usa en explotaciones intensivas y en menor proporción el pollo criollo. Durante las cuatro primeras semanas los pollos reciben concentrado de iniciación, conforme a las recomendaciones de la alimentación convencional y a partir de la 5ª semana se comienza a suministrar las dietas a base de jugo de caña

o melote, restringiendo el concentrado en un 20%, tal como se puede apreciar en la Tabla 31 .

En la Tabla 32 se puede observar los resultados obtenidos con estas dietas los cuales son similares a los obtenidos cuando los pollos consumen exclusivamente alimento balanceado. Sin embargo los costos se reducen significativamente y por consiguiente la utilidad por pollo producido es mayor.

TABLA 31. Dieta recomendada para pollos a base de jugo de caña y melote.

Semana	Consumo alimento, g/pollo		Total semana	Acumulado
	Concentrado	Melote o Jugo	g/pollo	g/pollo
1	130	-	130	130
2	282	-	282	412
3	479	-	479	891
4	734	-	734	1625
5	710	178	888	2513
6	860	214	1074	3587
7	1046	262	1308	4895

Fuente: Albarracín C., Luis C., CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

TABLA 32. Resultados obtenidos con pollos alimentados con jugo de caña y melote.

Variable	Melote + concentrado	Jugo + concentrado	Concentrado
Concentrado: consumo acumulado a las cuatro primeras semanas, g/pollo	1.640	1.640	1.640
Peso promedio 4ª semana, g/pollo	779	779	779
Concentrado consumo acumulado (semanas 5ª, 6ª y 7ª), g/pollo	2.804	2.804	3.458
Consumo jugo-melote, g/pollo	654	654	-
Peso promedio, g/pollo	2.150	2.100	2.200
Conversión de alimento	2,37	2,4	2,3

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.



7. AGROFORESTERÍA EN LA UNIDAD PRODUCTIVA FINCA TRAPICHE

La producción de panela tiene una demanda elevada de árboles y arbustos, debida al uso de leña como combustible en las hornillas, la madera empleada en la construcción de las instalaciones, mesones, gaveras y cabos de las herramientas y los aglutinantes para la limpieza de los jugos. Además de estos usos relacionados con la producción panelera, existen otras demandas propias de las fincas que afectan la cantidad y calidad del recurso forestal como son los postes, la madera, las varas, la leña como combustible para cocinar y como especies forrajeras. Por estas razones es importante mantener de forma constante en la finca, árboles y arbustos que le sean útiles al productor por sus diferentes propiedades.

La agroforestería es una disciplina que presenta muchas oportunidades para la agroindustria panelera, sobre todo en el mantenimiento del recurso vegetal que es empleado de forma intensiva. Además del uso industrial y doméstico, las especies agroforestales presentan ventajas ambientales como el mejoramiento del ciclo de nutrientes y de la fertilidad del suelo, la protección del suelo y las fuentes de agua, la estabilidad del micro-clima y el aumento y diversidad de la flora y de la fauna.

La inclusión de árboles y arbustos en los sistemas agrícolas depende de las necesidades del productor y de las condiciones agroecológicas de la finca. En la Tabla 33 se presentan las especies que por sus usos y adaptación sobre el nivel del mar, se recomiendan para sembrar en las UPFT.

La siembra de árboles o arbustos en la finca debe hacerse de forma ordenada, por lo tanto es necesario hacer la planificación agroforestal del predio, dependiendo de los intereses del productor y de las características de la finca, en la cual se define el sistema a establecer, la distribución espacial y temporal de las especies, el tipo de especies a combinar, la función del sistema dentro de la finca y el manejo.

Ejemplo. Si se va a establecer una cerca viva para el potrero, con árboles de nacedero y matarratón, se sembrarán las especies intercaladas a 2 metros entre plantas. Se harán podas de formación y de mantenimiento, y se cosechará frecuentemente el forraje. Después de 5 años, se realizará un raleo y se dejarán solo las plantas que estén bien formadas. Este arreglo además de servir como cerca viva, proveerá de leña, forraje y abono verde.

La distribución espacial señala donde van a estar localizadas las especies y el sistema de siembra a utilizar. La distribución temporal es el manejo a largo plazo y en intervalos de tiempo dado al sistema. Entre los ejemplos más comunes están: el raleo, que consiste en eliminar las plantas no deseadas para proveerse de leña; la producción maderera en sistemas que combinan pastos y árboles o cultivos y árboles y; la combinación de especies de uso múltiple que después de su establecimiento pueden ser utilizados como sombrío o cercas

La “**Agroforestería**” es un conjunto de técnicas de manejo sostenible de la tierra, que incrementa su rendimiento, combina la producción de cultivos y plantas forestales y/o animales, simultánea o consecutivamente, en la misma unidad de terreno y aplica prácticas de manejo que son compatibles con las prácticas culturales de la población local.

TABLA 33. Especies para usos múltiples en sistemas productivos de caña panelera.

Nombre común	Nombre científico	Usos	Altitud m.s.n.m.
Balso	<i>Heliocarpus popayanensis</i>	Clarificante	1.200-1.800
Bore	<i>Alocasia macrorrhiza</i>	Forraje, protección de fuentes de agua	500-2.000
Botón de oro, mirasol	<i>Tithonia diversifolia</i>	Forraje, protección de fuentes de agua	0-2.500
Caracolí, aspavé, merey.	<i>Anacardium excelsum</i>	Maderable, protección de fuentes de agua	0-1.700
Cedro (rosado, blanco)	<i>Cedrela odorata</i>	Maderable, protección de fuentes de agua	0-1.500
Chachafruto, balú, poroto	<i>Erythrina edulis</i>	Alimento, forraje, fuentes de agua	1.500-2.500
Guadua	<i>Guadua angustifolia</i>	Control de erosión, leña, maderable, protección de fuentes de agua	0-1.800
Guamo	<i>Inga edulis</i>	Alimento, forraje, leña	0-1.500
Guásimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Clarificante, forraje, leña.	0-1.500
Guayaba	<i>Psidium guajaba</i>	Alimento, control de erosión, forraje	0-1.800
Guayacán polvillo, cañaguata, chicalá, guayacán amarillo	<i>Tabebuia chrysantha</i>	Control de erosión, leña, maderable, ornamental	100-1.900
Jagua, juaguillo, jago	<i>Genipa americana</i>	Leña, madera para gaveras y moldes	0-1.500
Leucaena, acacia forrajera,	<i>Leucaena leucocephala</i>	Abono verde, forraje, leña	0-1.500
Matarratón, madero negro, madrecaño	<i>Gliricidia sepium</i>	Abono verde, forraje, leña	0-1.200
Mo, moho, nogal cafetero,	<i>Cordia alliodora</i>	Leña, maderable	0-1.800
Morera	<i>Morus spp.</i>	Forraje	0-2.700
Muche, carbonero, galapo	<i>Albizzia carbonaria</i>	Control de erosión, leña maderable.	300-1.600
Nacedero, aro, madre de agua, quiebra barriga, cajeto	<i>Trichanthera gigantea</i>	Abono verde, control de erosión, forraje, protección de fuentes de agua	0-1.800
Ocobo, flor morado, guayacán morado, guayacán rosado.	<i>Tabebuia rosea</i>	Leña, maderable, ornamental	0-1.800
Ramio	<i>Boehmeria nivea</i>	Forraje, protección de fuentes de agua	100-2.500

Fuente: Programa de Recursos Biofísicos. CORPOICA - C.I. Tibaitatá 2006.



vivas. Existen varios arreglos o sistemas como se pueden asociar los árboles y arbustos con los diferentes componentes de las fincas. Las combinaciones más conocidas son:

❑ **Los sistemas agroforestales**

Consisten en la combinación de árboles y cultivos. Algunos ejemplos son el cultivo de café y cacao con sombrío. En caña, en un sistema agroforestal, los árboles se deben sembrar a mínimo 12 metros entre plantas y deben recibir podas frecuentes para no afectar la caña con la sombra.

❑ **Los sistemas silvopastoriles**

Son la combinación entre árboles y arbustos en los sistemas para producción pecuaria. Algunos ejemplos son los árboles individuales o agrupados distribuidos en potreros y; los bancos de proteína y otros arreglos que implican que el forraje se corte y se cargue hasta donde se encuentran los animales.

❑ **Los policultivos**

Son la combinación de cultivos de diferentes estratos, los ejemplos más comunes son la combinación de caña con maíz y frijol, las sementeras o huertas mixtas y los árboles frutales asociados con cultivos.

❑ **Sistemas complementarios**

Corresponden a los árboles sembrados en: cercas vivas, cortinas rompevientos, linderos, zonas de control de erosión y de protección de taludes y los de protección de fuentes de agua y para el enriquecimiento de rastrojos. El sistema o arreglo agroforestal escogido para el establecimiento de las especies varía de acuerdo a las características de cada finca y al criterio del productor de acuerdo con sus objetivos. En la Tabla 34 se muestran algunas especies forestales y el arreglo más recomendable para cada una de ellas.

La mayoría de las especies forrajeras, las utilizadas para cercas vivas, linderos y para la protección de fuentes de agua pueden ser propagadas por estacas. Las maderables y las usadas para protección de suelo se deben propagar por semilla. Las

semillas de algunas especies se pueden recolectar en la misma zona y otras se tienen que comprar en tiendas especializadas.

La propagación de estas especies en un vivero pequeño se puede manejar en forma individual en una sola finca o de forma colectiva para varios productores de una misma vereda o cuenca. Los costos del vivero son bajos y la mayoría de los materiales se pueden conseguir en la misma finca. Los materiales a comprar son bolsas negras y algunas semillas difíciles de conseguir en la zona. El vivero debe tener una cubierta, para lo cual puede emplearse polisombra plástica, costales ralos de fique o un umbráculo de guadua.

El vivero debe dividirse en dos secciones: la primera o semillero, donde se siembra la semilla y germinan las plántulas, hecha en cajones o eras con guadua o madera. El sustrato de germinación puede ser la combinación de tierra cernida, abono y arena, en partes 3:1:1, respectivamente. La otra, un área de adaptación al medio y crecimiento, formada por eras o terrazas donde se ubican las plantas ya trasplantadas en bolsa y donde deben permanecer entre 2 y 3 meses, dependiendo del desarrollo de las especies.

El vivero debe tener un área donde se desinfecte el sustrato de los semilleros. La forma más fácil de desinfección es la solarización, que consiste en hacer un montón del sustrato, humedecerlo, cubrirlo con un plástico transparente y dejarlo en un sitio a libre exposición del sol, durante mínimo 30 días.

La principal ventaja de tener un vivero en la finca es el vigor y sanidad de las plantas, producto del manejo y el cuidado adecuado que el productor hace de los semilleros. Muchas veces cuando se compra el material vegetal en viveros comerciales, este puede presentar deformaciones de raíz, inadecuado desarrollo de los meristemos apicales y ramificación, los cuales conducen al deficiente crecimiento y desarrollo en el sitio definitivo.

7.1 LA CAÑA Y LAS ESPECIES FORRAJERAS EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La caña, además de ser la materia prima para la elaboración de panela, se puede convertir en base

TABLA 34. Arreglos recomendados para el establecimiento de las especies agroforestales.

Nombre común	Arreglos agroforestales
Balso	Asociado a cultivos, a la caña, bosques o rastrojos, cerca viva
Bore	Al borde de nacimientos y afluentes de agua, bancos de proteína
Botón de oro, mirasol	Al borde de nacimientos, borde de caminos, bancos de proteína, cerca viva
Caracolí, aspavé, merey.	Asociado a cultivos, asociado a la caña, bosques y rastrojos
Cedro	Asociado a cultivos, a la caña, a pastos, bosques y rastrojos, cerca viva
Chachafruto, balú, poroto	Asociado a cultivos, bancos de proteína, cerca viva, policultivos
Guadua	Al borde de nacimientos y afluentes de agua, zonas erosionadas
Guamo	Asociado a cultivos, a pastos, cortinas rompevientos, policultivos
Guásimo	Asociado a la caña, asociado a pastos, bosques y rastrojos, cerca viva
Guayaba	Asociado a cultivos, asociado a pastos, policultivos, zonas erosionadas
Guayacán	Asociado a cultivos, borde de caminos, bosques y rastrojos
Jagua	Asociado a cultivos, asociado a la caña, bosques y rastrojos
Leucaena	Asociado a cultivos, a pastos, bancos de proteína, bosques y rastrojos
Matarratón	Asociado a cultivos, a pastos, bancos proteicos, rastrojos, cerca viva
Mo, nogal cafetero, móncoro	Asociado a cultivos, a la caña, a pastos, bosques y rastrojos, cerca viva
Morera	Bancos de proteína
Muche,	Asociado a cultivos, a pastos, bosques y rastrojos, zonas erosionadas
Nacedero	Asociado a cultivos, a pastos, fuentes de agua, bancos de proteína, cerca viva, zonas erosionadas
Ocobo	Asociado a cultivos, a caña, a pastos, borde de caminos, bosques y rastrojos
Ramio	Al borde de nacimientos, asociado a cultivos, bancos de proteína

Fuente: Programa de Recursos Biofísicos – CORPOICA – C.I. Tibaitatá 2006.

de la alimentación de los diferentes animales de la finca. Sin embargo, por los bajos contenidos de proteína, minerales y por la ausencia casi total de grasas y almidones, no se recomienda como única fuente de alimento.

Para mejorar la dieta de los animales a partir de caña y minimizar los costos por la compra de alimentos concentrados, suplementos proteicos, urea y pollinaza, se recomienda el uso de especies vegetales. Para que un árbol o arbusto pueda ser

calificado como forrajero debe cumplir con algunos requisitos:

- Que presente buena aceptación por parte los animales para su consumo, como para esperar buen crecimiento, producción de leche, carne o huevos y buen desempeño reproductivo.
- Que su composición nutricional contribuya a suplir los requerimientos nutricionales del animal.



- Que no posea compuestos anti-nutricionales.
- Que presente buena tolerancia a la poda y rebrote suficientemente vigoroso como para obtener niveles significativos de producción de biomasa por unidad de área.

A continuación se describen algunas de las especies forrajeras más importantes que en combinación con la caña contribuyen a mejorar la dieta de los animales.

7.1.1 MATARRATÓN (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.)

Conocido también como madero negro y madrecaao (Figura 64). El matarratón sirve como alimento para ganado bovino, ovino y aves, pero no sirve para equinos. Sus hojas tienen un contenido de proteína del 17 al 23%, calcio (1,7%) y niveles medios de fósforo (0,2%).

Se adapta a altitudes entre 0 y 1.000 m.s.n.m. Requiere de suelos con buen drenaje, aunque tolera sitios húmedos y temporalmente inundados y es resistente a la sequía y a suelos compactos; para su buen desarrollo necesita suelos con pH superior a 5,0 y con fertilidad media a alta. Se puede propagar por semilla y estaca, siendo esta última la más usada. Para ella se escogen estacas de 1 a 1,2 m de largo, evitando utilizar ramas mayores de 1 año de

edad. La propagación por semilla es más rápida y uniforme que en estacas y la siembra resulta menos laboriosa y complicada, pero la producción de semilla se da principalmente en la Costa Atlántica.

El matarratón puede establecerse en arreglos que implican la cosecha y acarreo del forraje como:

- Bancos de proteína: es preferible la propagación por semilla, sembrándola de 0,5 a 1 m entre plantas y 1 m entre hileras; también se puede establecer con estacas de 30 cm de largo y 3 a 5 cm de diámetro.
- Cercas vivas sembradas de 1,5 a 3 m de distancia y establecidas con estacas de: 5 a 6 cm de diámetro y 1,5 a 2,5 m de longitud.

El primer corte del matarratón en el banco de proteína, debe hacerse 6 ó 7 meses después de su siembra. Durante los 2 ó 3 primeros años, se recomienda cosechar el forraje 1 ó 2 veces al año; en plantas de más de tres años, el mejor resultado se logra con cortes cada tres meses. La mejor altura de corte es de 0,60m.

7.1.2 GUÁSIMO (*Guazuma ulmifolia* Lam.)

Conocido también como guácimo. Las hojas y frutos, son consumidos por el ganado vacuno, equino

FIGURA 64. Especies forrajeras que contribuyen en la alimentación animal.



Matarratón
(*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.)

Guásimo
(*Guazuma ulmifolia* Lam.)

Flor y hoja de cayeno

Fuente: Programa de Recursos Biofísicos. CORPOICA – C.I. Tibaitatá, 2006

y porcino, particularmente al final del periodo de sequía, cuando los pastos son escasos. Las hojas jóvenes tienen entre 16 y 23 % de proteína cruda y los tallos jóvenes entre 7 y 8%. Se debe recordar que esta especie se utiliza para la limpieza del jugo de la caña en la elaboración de la panela (Figura 64).

La propagación del guásimo, se puede hacer con material vegetal y con semilla, siendo la propagación por estacas la más fácil de realizar. La semilla se recolecta cuando los frutos están de color pardo oscuro y para sembrarla es recomendable remojarla en agua hirviendo por 3 minutos y luego ponerlas en agua fresca durante 24 horas, con un lavado manual posterior para remover el mucílago que las cubre.

El guásimo se puede establecer en los siguientes arreglos agroforestales:

- Como sombra para el ganado en potreros, agrupados de 2 o 3 plantas cada 10 a 20 m, o dispersos de 12 a 25 m distanciados entre sí.
- Como cerca viva, sembrados entre 2 y 3 m de distancia.
- En los bordes del cultivo de caña o dentro del cultivo cerca al trapiche.

Este árbol sirve para limpiar el jugo de la caña y como leña para la hornilla. La cosecha de forraje se hace cuando se corta las ramas del árbol con alguno de estos fines. Cuando está asociado al cultivo de la caña, se debe podar las ramas al mismo tiempo que se corta la caña ó frecuentemente para que no genere mucha sombra sobre el cultivo. Esta planta resiste muy bien las podas y se recupera fácilmente.

7.1.3 CAYENO, (*Hibiscus rosa-sinensis*)

Especie también conocida como: resucitado, hibiscus, rosa de china o clavelón. Esta especie tiene 24,7% de materia seca, tiene entre 14 y 26% de proteína cruda en la materia seca. Se considera como una especie con gran potencial forrajero para la alimentación de bovinos, ovinos y conejos. El cayeno es de la familia Malvaceae, es exigente en luz y se adapta a temperaturas entre 13 y 30°C. Requiere suelos bien drenados, con pH entre 5,5 y 6,5 con mediana fertilidad (Figura 64).

La propagación de esta especie se hace por semilla y por material vegetal. La semilla es difícil de conseguir por lo que se recomienda sembrarla con estacas y por división de la cepa.

El cayeno se puede establecer en los siguientes sistemas agroforestales:

- Setos o cercados, sembrados cada 0,5 - 1 m entre plantas. Es posible hacer dos hileras.
- Dispersas, ornamentales, sembradas mínimo a 2 metros.
- Bancos de proteína.
- Barreras contra la erosión, sembrando hileras en curvas a nivel distanciadas entre 0.5 y 1m entre plantas.

Esta especie responde bien a la aplicación de abonos orgánicos. Dependiendo del uso que se le dé, necesita podas de formación y mantenimiento. En seto o barrera se debe hacer una poda inicial a los 60 cm para provocar su ramificación y se poda periódicamente para mantener la forma de la cerca. Cuando está como ornamental se debe hacer podas de mantenimiento dándole la forma que se desee.

7.1.4 LEUCAENA (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.)

Especie también conocida como acacia forrajera. La leucaena es una especie con gran potencial forrajero por el contenido de proteína (entre 22 y 23% de proteína cruda), es apetecida por el ganado y su propagación es relativamente fácil (Figura 65).

Puede llegar a ser tóxica para los animales si la consumen en exceso, debido a que tiene altas concentraciones de mimosina, sobre todo en hojas y tallos jóvenes. En dosis altas produce caída del pelo de los animales, (y no se recomienda como alimento de equinos y ovejas) y en general disminución del apetito, salivación excesiva, descoordinación, crecimiento anormal de la glándula tiroidea, baja reproducción y producción de becerros con bocio que mueren al nacer. Cuando la leucaena se proporciona por periodos prolongados, en cantidades menores al 30% de la dieta, no se produce ningún efecto tóxico.

La propagación de la leucaena se hace con semilla, la cual se recolecta de la planta antes de que



las vainas se abran. Para sembrar las semillas es recomendable lijarlas hasta que pierdan su brillo, o remojarlas con agua hirviendo por 3 minutos y luego ponerlas en agua fresca durante 36 horas. Se puede sembrar directamente en bolsa, 2 a 3 semillas por bolsa a 0.5cm de profundidad..

La leucaena se utiliza bien sea para ramoneo en los potreros o para corte y acarreo si el ganado está estabulado. A continuación se describen los arreglos que se pueden establecer con esta especie:

- Como cerca viva, sembrado entre 1,5 y 3 m de distancia.
- Bancos de proteína, sembrados cada 0,1 a 0,5 m por 1 m entre hileras, dependiendo de la pendiente.
- En potreros para ramoneo, sembrados entre 0,3 y 1m entre plantas y de 1,5 a 2,5 metros entre hileras dependiendo de la pendiente. A mayor pendiente, mayor distancia de siembra. Se combina bien con pastos como brachiaria, estrella, etc.
- Para sombra del ganado en potreros, sembrados de 10 a 15 m distanciados entre sí.
- Asociada con pasto de corte, una hilera cada 2-3 metros o 3-4 hileras de pasto de corte.

Esta planta establecida como banco de proteína se debe cosechar cuando tienen de 1 a 1,5 m de altura. Asociada con pasto de corte, se debe cosechar al mismo tiempo con el pasto y el corte se hace cuando la planta alcanza entre 1,5 y 2 m de altura. El corte adecuado es a 50 cm del suelo y el forraje se debe proporcionar rápidamente al ganado, antes de que las hojas se deshidraten.

En potreros para ramoneo, se introduce el ganado cuando las plantas tienen entre 1,5 y 2 m de altura y después del paso de los animales se cortan las plantas a una altura de 40 a 50 cm del suelo, se dejan que rebroten y se inicia de nuevo el ciclo.

7.1.5 MORERA (*Morus alba*)

Esta planta forrajera puede ser utilizada como alimento para bovinos y ovinos; se caracteriza porque mejora la producción de leche y las ganancias de peso en ceba. Se puede utilizar fresca, ensilada o deshidratada; en esta última forma no se disminuyen sus niveles de proteína. Las hojas tienen entre 15 y 25 % de proteína cruda y el tallo no lignificado (tallos tiernos) entre 7 y 14% (Figura 65).

La propagación de la morera se puede realizar con semilla, estaca, acodo e injerto. La propaga-

FIGURA 65. Especies forrajeras que contribuyen en la alimentación animal.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2006.

ción más rápida es a partir de estacas enraizadas. Se pueden escoger estacas de ramas lignificadas que tengan como mínimo 3 yemas y se cortan de 25 a 40 cm de largo. Después de su siembra, la aparición de las primeras hojas se da entre los 4 y 35 días. Las estacas se pueden guardar por más de una semana sin que se dañen.

Como banco de proteína, se recomienda sembrar a 0,4 m entre plantas y 1 m entre surcos, en curvas a nivel. El primer año se debe hacer control de malezas y una buena fertilización, bien sea química u orgánica. El primer corte se hace 1 año después de su siembra y a partir del segundo año la frecuencia de la cosecha de forraje es de 90 a 120 días, teniendo la mayor producción a los 120 días. El corte se hace entre 0,4 y 1,5 m de altura sobre el suelo. La poda no se debe hacer antes de los 90 días, para que no se afecte la producción de biomasa. Para mejorar el rebrote se realiza una poda de rejuvenecimiento cada 2 ó 3 años y en esta las plantas se cortan de 10 a 15 cm del suelo. Esta especie puede producir durante 15 a 20 años, de acuerdo al manejo y mantenimiento que se le dé.

7.1.6 MIRASOL (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray.)

Conocida también como botón de oro. Esta especie sirve como forraje fresco para ovinos, conejos, cerdos y bovinos y la harina de sus hojas sirve como suplemento en la alimentación de gallinas ponedoras y pollos de engorde. Tiene 28,5% de proteína cruda a los 30 días de edad y tiende a disminuir hasta 14,8% a los 89 días (Figura 65).

Se puede propagar por estaca o por semilla, siendo la propagación por estaca la más usada. Se utilizan estacas leñosas, de 20 a 50 cm de longitud, que tengan entre 4 y 5 yemas, las cuales se siembran de forma horizontal o inclinada sin cubrirlas totalmente con tierra. Estas empiezan a germinar a partir de los 15 días de la siembra. El botón de oro crece como hierba mala y generalmente se encuentra como cerca viva en el borde de los caminos. Se puede sembrar como banco de proteína a distancias de 0,5 a 1 m entre plantas. También se puede sembrar en áreas boscosas y pa-

ra la protección de taludes y de fuentes agua. Sirve como abono verde debido a su crecimiento rápido, abundante biomasa y rápida descomposición. El botón de oro es una especie que sirve para corte y acarreo. Para obtener la mayor calidad nutricional se debe cortar cada 30 a 50 días y antes de la floración. Esta especie se recupera rápidamente después del corte.

7.1.7 NACEDERO, (*Trichanthera gigantea* (H&B) Ness.)

Conocido también bajo los nombres de aro, cajeto, quiebra barriga, madre de agua. Sirve como forraje y sus hojas son comestibles por ganado bovino, equinos, caprino, ovinos de pelo, conejos, cuyes, gallinas ponedoras, pollos de engorde y cerdos. Esta especie tiene entre 15 y 22% de proteína cruda (Figura 66).

Esta especie se puede propagar con estacas. Las estacas empiezan a rebrotar a partir de los 21 días después de su siembra. Se pueden sembrar directamente en campo o en bolsa y transplantar a raíz desnuda (previo corte de parte de las hojas). La semilla tiene un porcentaje de germinación muy bajo y por eso no se recomienda. Para su aprovechamiento como forraje, esta especie se puede sembrar en los arreglos que se describen a continuación:

FIGURA 66. Cerca viva de Nacedero o aro.



Fuente: Programa de procesos agroindustriales. CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2006.

- Como cerca viva, con estacas sembradas de 0,5 a 3 m de distancia entre plantas. Para su siembra se utilizan estacas de 1,5 a 2,0 m de largo y de 10 a 15 cm de diámetro. Implica el corte y acarreo del forraje para ser picado y suministrado a los animales.
- Banco de proteína, con estacas entre 0,5 y 1 m de distancia en cuadro. Su establecimiento se hace con estacas de 45 a 50 cm de longitud y 5 cm de diámetro. Implica el corte y acarreo del forraje para ser picado y suministrado a los animales.

El primer corte de la planta se realiza a los 6 meses después del establecimiento y se puede cosechar cada 3 meses; el corte se debe hacer a

1 m sobre el suelo. Con densidades de siembra de alrededor de 10.000 árboles por hectárea, se han obtenido producciones de 35 a 40 t/ha de forraje verde por año. En cercas vivas, con caña, se han logrado producciones de forraje verde de 9,2 t/año, por kilómetro lineal y cortes cada 3 meses.

7.1.8 OTRAS ESPECIES CON POTENCIAL FORRAJERO

Existen otras especies que también se adaptan a las zonas paneleras y que sirven para la alimentación de los animales de la finca. En la Tabla 35 se presentan algunas de estas especies con sus principales características de adaptación y uso.

TABLA 35. Características de otras especies con potencial forrajero.

Nombre común	Nombre científico	Altitud m.s.n.m.	Vocación de uso
Bore	<i>Alocasia macrorrhiza</i> (L.).	500-2000	Cerdos, Aves, Peces.
Maní forrajero	<i>Arachis pintoi</i>	0 - 1800	Bovinos, Caprinos, Ovinos, Aves.
Ramio	<i>Boehmeria nivea</i>	0-1200	Conejos., Aves, Cerdos, Bovinos
Cratylia	<i>Cratylia argentea</i>	0-1200	Bovinos, Ovinos
Totumo, calabazo, mate.	<i>Crescentia cujete</i>	0-1100	Bovinos, Equinos, Aves
Orejero, Caracaro, Carito, Piñón de oreja, Riñón	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0-1300	Bovinos
Chachafruto, balú, proto. .	<i>Erythrina edulis</i>	1300-2600	Aves, Bovinos
Pisamo, búcaro, cachimbo. .	<i>Erythrina fusca</i>	200-1200	Bovinos
Cámbulo, Anaco, Bucaro	<i>Erythrina poeppigiana</i>	600-1700	Caprinos, Ovinos, Bovinos
Cují, trupillo. algarrobo.	<i>Prosopis juliflora</i>	0-1500	Bovinos, Caprinos
Iguá, roble, cedro amarillo, samán, tabaca, nauno.	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	0-1600	Bovinos
Samán, algarrobillo.	<i>Samanea saman</i>	0-1300	Bovinos

Fuente: Santana, Nathalia. Programa de Recursos Biofísicos - CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2006.

8.

PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN FINCAS PANELERAS

La creciente preocupación relacionada con la degradación de residuos que amenaza a los ecosistemas, el uso impropio de fertilizantes inorgánicos, la contaminación y pérdidas del suelo y la tendencia hacia el consumo de productos biológicos, han vuelto a despertar el interés global en prácticas orgánicas para el reciclaje de residuos, como el compostaje. El potencial de esta técnica, reside en la transformación de subproductos de naturaleza orgánica, originados durante los diversos procesos productivos y de consumo, en un producto estable, inodoro y almacenable sin riesgos ambientales, para su posterior devolución al suelo bajo la forma de acondicionador biológico o bioabono.

A nivel de unidades productivas, los sistemas de explotación pecuaria en torno a la caña, generan desechos (en este caso las deyecciones o excretas animales), que es necesario retornar al medio en forma segura y eficiente. Estos residuos, que carecen de valor económico para los productores y se constituyen en contaminantes ambientales, pueden ser compostados con algunos subproductos del cultivo y del proceso como la hoja de caña, el bagazo y la ceniza de las hornillas, para obtener un abono orgánico, con propiedades que influyan de forma favorable en la fertilidad del suelo, el incremento de la producción de los cultivos, la sustitución de fertilizantes de síntesis química y la compra de insumos externos.

Con el compostaje se complementa el sistema, logrando el cierre de ciclo de las actividades en las UPFT, la valorización de residuos y uso apropiado a los recursos disponibles en la finca (Figura 67).

8.1 FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

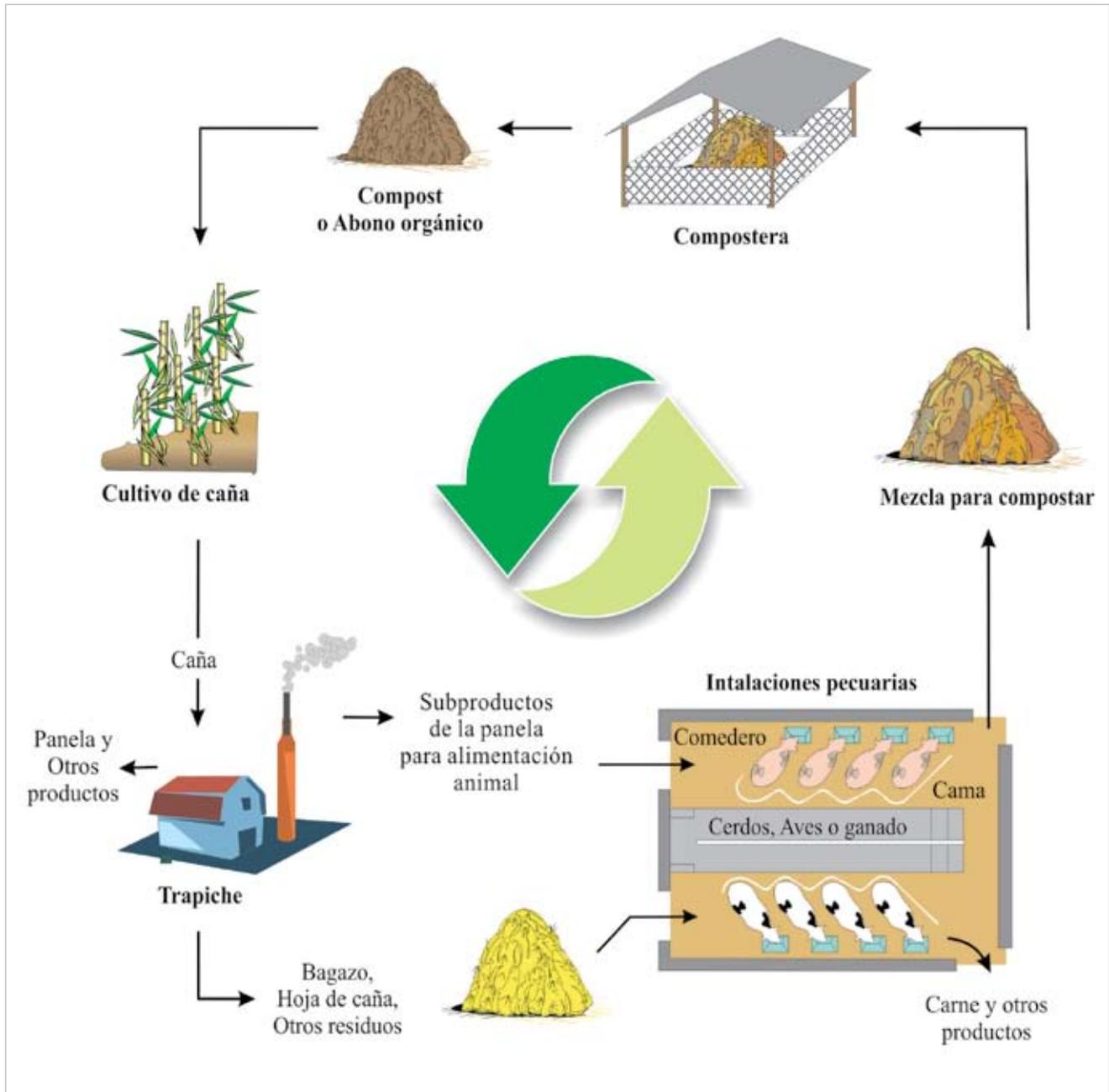
Uno de los aspectos fundamentales de la agricultura orgánica es el relativo al concepto del suelo y su fertilidad. Desde el punto de vista agrícola, la fertilidad del suelo se ve disminuida por la pérdida de la materia orgánica, las altas tasas de extracción de los nutrientes por las plantas cultivadas y por la lixiviación de nutrimentos, que generan incrementos de acidez y desequilibrio de los componentes químicos del suelo. Los materiales orgánicos pueden mejorar la fertilidad de los suelos de diferentes maneras: a) proporcionando a las plantas elementos nutritivos, b) modificando las condiciones físicas del suelo, c) aumentando la actividad microbiológica para un mayor aporte de energía y d) protegiendo a los cultivos de los excesos temporales de sales minerales o de sustancias tóxicas²⁵.

Por tanto, el mejoramiento de la fertilidad del suelo es consecuencia del mejoramiento físico (estructura), químico (materia orgánica, nutrientes) y biológico (micro y macroorganismos). Así mismo, la fertilización en la agricultura orgánica debe cumplir tres aspectos: mejorar la fertilidad del suelo, economizar los recursos no renovables y no introducir elementos contaminantes en los agrosistemas.

Las formas más apropiadas de fertilización orgánica son: abonos orgánicos, abonos verdes; fijación natural de nutrientes por medio de plantas y micorrizas; abonos foliares de origen natural tales como: fermentados de estiércol de ganado, gallinaza y/o compuestos vegetales; rotación de

25 RUIZ, F. J. F. Los fertilizantes y la fertilización orgánica, bajo la óptica de un sistema de producción orgánico. Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco. Consejo Nacional Regulador de Agricultura Orgánica, Gobierno del Estado de Colima y SAGAR-INIFAP. Nov. 1996.

FIGURA 67. Modelo integral del sistema productivo de caña.



Fuente: Toscano L. Adriana. Programa de procesos agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

cultivos; incorporación de materia orgánica, vegetación secundaria natural y/o cultivos forestales.

8.2 PROPIEDADES DE UN ABONO ORGÁNICO

La diferencia entre un abono orgánico y uno de síntesis química obedece básicamente al aporte de

materia orgánica. Un abono orgánico está constituido por materia orgánica en diferentes grados de mineralización y humus y contribuye significativamente a aumentar la producción, al mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Tabla 36). No obstante un abono orgánico no sustituye la fertilización química pues su contenido mineral es bajo.

TABLA 36. Ventajas y desventajas del efecto de la adición de materia orgánica al suelo.

Características físicas	
Mejora la estructura del suelo	El humus o los productos de descomposición se unen con la arcilla formando pequeños terrones que mejoran la resistencia del suelo a la erosión.
Airea los suelos arcillosos y agrega los arenosos	Los suelos pesados (arcillosos) quedan más sueltos y más fáciles de ser trabajados. Los grumos formados por la materia orgánica dejan la tierra menos pegajosa y con poros entre los granos. Los suelos arenosos, a su vez son mejorados con la unión de partículas, evitando una estructura excesivamente suelta, sujeta a la erosión.
Aumenta la capacidad de retención de agua	La materia orgánica funciona como una esponja pues consigue almacenar una cantidad de agua de cuatro a seis veces superior a su propio peso. De esta forma permite reducir los efectos de sequías y los gastos de la irrigación.
Mantiene constante la temperatura	La materia orgánica es mala conductora de calor y actúa como aislante térmico; por ello, la temperatura del suelo no varía mucho. Un terreno sin materia orgánica puede tener un aumento de temperatura de hasta treinta grados centígrados, en un período de 24 horas. En un suelo con materia orgánica, el aumento no pasará de 10° C.
Características químicas	
Almacena nutrientes	Como tiene cargas eléctricas negativas la materia orgánica atrae nutrientes con carga positiva como calcio, magnesio y potasio. Así no son lavados por el agua de la lluvia. En la práctica, eso significa mejor aprovechamiento de fertilizantes y mejor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Esta última propiedad es conocida como capacidad de cambio catiónico, la cual es alta en las arcillas y muy alta en humus.
Disuelve calcáreos y fosfatos	Los ácidos formados en la descomposición de la materia orgánica (carbónico, nítrico, sulfúrico, cítrico y otros) atacan los correctivos adicionados y liberan el calcio, fósforo y otros nutrientes para el suelo y para las plantas.
Asocia a los micronutrientes	La materia orgánica se une al hierro, magnesio, zinc y cobre protegiéndolos y liberándolos en la medida en que las plantas los necesitan. Los compuestos resultantes de la unión de la materia orgánica con esos elementos se conocen como “quelatos”
Características biológicas	
Aumenta la vida del suelo	La materia orgánica es alimento y energía para los organismos vivos presentes en el suelo. Al mantenerlo suelto y aireado facilita el desarrollo de los pequeños seres que descomponen los restos de vegetales y animales.
Favorece la asimilación de nutrientes	El aporte de materia orgánica favorece la introducción de microorganismos benéficos, facilitando la asimilación de los nutrientes del suelo y los aportados por la materia orgánica, mediante la transformación y metabolización biológica de nutrientes que no pueden ser utilizados en su forma elemental por las plantas.
Aumenta la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades	Las plantas cultivadas en suelos abonados con materia orgánica son más resistentes a las plagas y enfermedades, ya que la alta carga de especies benéficas presentes en la materia orgánica, contribuye a la reducción de poblaciones de organismos patógenos, actuando como predadores de estos y compitiendo con los mismos por el alimento.
DESVENTAJAS	<p>Pueden ser vectores de enfermedades tanto para las plantas como para los consumidores, si la materia orgánica no ha sido tratada de forma adecuada y se adiciona al suelo en estado de inmadurez.</p> <p>La cantidad requerida para abonar es grande.</p> <p>Su composición irregular hace difícil determinar las dosis de aplicación en los diferentes suelos.</p> <p>Se tienen pérdidas considerables de nitrógenos.</p>

Fuente: Toscano L. Adriana. Programa de procesos agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá. 2005.



8.2.1 ¿QUE ES LA MATERIA ORGÁNICA?

Materia orgánica (MO) es una expresión muy usada, a pesar de que su definición es vaga. Hay diversos tipos de materia orgánica, en distintos estados de descomposición y con propiedades muy diferentes. La materia orgánica está formada por dos tipos de materiales: a). Los restos de animales y vegetales en diferentes fases de descomposición y b). El humus resultante de reacciones entre nuevas sustancias formadas.

La descomposición de los materiales orgánicos ocurre por medio de dos procesos:

□ La mineralización

Es la conversión de la materia del estado orgánico al inorgánico. El material orgánico es triturado por especies mayores como hormigas, lombrices, arañas y otros invertebrados y luego es descompuesto por microorganismos como bacterias y hongos. Las plantas jóvenes, los abonos verdes, las partes más tiernas de los vegetales, el estiércol fresco y el estiércol líquido, corresponden a la materia orgánica que se descompone y mineraliza con mayor facilidad.

□ La humificación

Es la descomposición de la materia orgánica fresca para formación de humus. El humus es la parte activa y más estable de la materia orgánica, con propiedades que influyen en la fertilidad del suelo y en la producción agrícola. Las partes más viejas o endurecidas de las plantas, la paja, el estiércol viejo y los compuestos orgánicos de descomposición difícil y lenta, contribuyen en la formación del humus. Todo humus es materia orgánica, mas no toda materia orgánica es humus.

8.3 ¿QUÉ ES EL COMPOST?

El compost es un abono obtenido a partir de la degradación de la materia orgánica. La materia orgánica de origen vegetal o animal (restos de cosechas, estiércoles, rastrojos, etc.) se transforma en un material estable, bien degradado y que sirve de alimento para las plantas. Esto, es consecuencia de

los procesos de mineralización y humificación que tienen lugar cuando los macro y microorganismos descomponen la materia orgánica.(Figura 68).

8.4 ¿QUÉ ES EL COMPOSTAJE?

El compostaje es el proceso mediante el cual los materiales orgánicos se transforman en formas químicas más estables por la acción de micro y macroorganismos, en interacción con factores químicos, físicos y ambientales, bajo condiciones adecuadas de humedad, temperatura y aireación (Figura 69).

8.5 MACRO Y MICROORGANISMOS QUE DEGRADAN LA MATERIA ORGÁNICA

Todas las sustancias orgánicas naturales son descompuestas por algún organismo, lo cual explica la ausencia de materia orgánica inalterada. Cuando un compuesto orgánico deja de formar parte de un organismo vivo, es triturado por organismos mayores, también atacados por organismos menores que digieren y oxidan gran parte de estos compuestos en presencia de oxígeno (Figura 70). Esta conversión del estado orgánico al estado inorgánico es conocida como mineralización y humificación.

8.5.1 MICROORGANISMOS

El compostaje es un proceso realizado por microorganismos diversos entre los que se incluyen bacterias, hongos y actinomicetos, que se encuentran presentes en los materiales orgánicos.

- **Bacterias.** De estos microorganismos se pueden hallar millones por un gramo de materia orgánica. Son muy pequeños y por ello pueden estar en contacto directo con la materia orgánica e intervienen en la descomposición de azúcares, proteínas, grasas y demás moléculas de los residuos vegetales y animales. Por ser tan abundantes se convierten en alimento de macro organismos como colembolos, nematodos y microorganismos. Adicionalmente contribuyen con la formación de humus.

FIGURA 68. Representación esquemática de la obtención de compost.

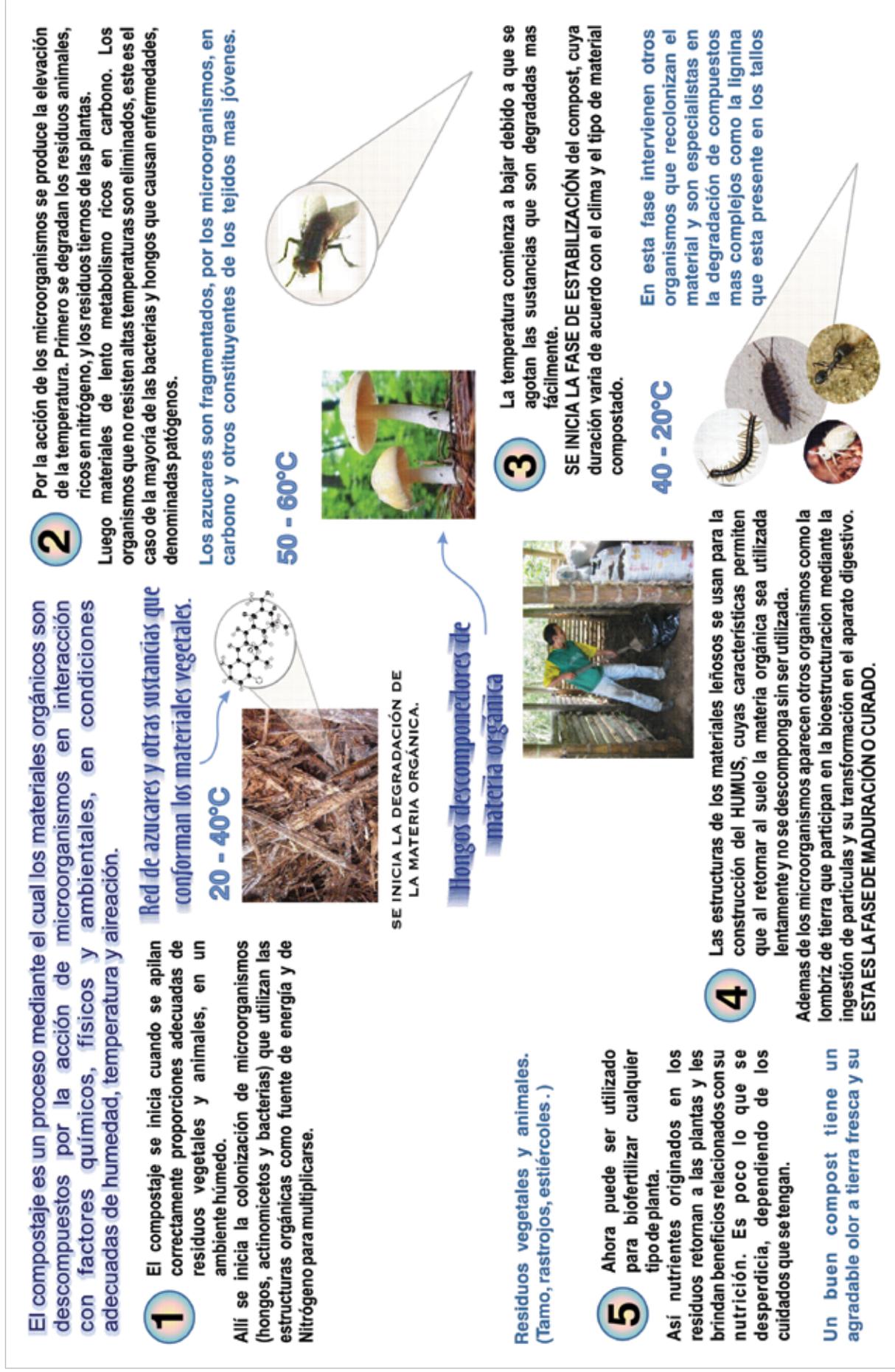
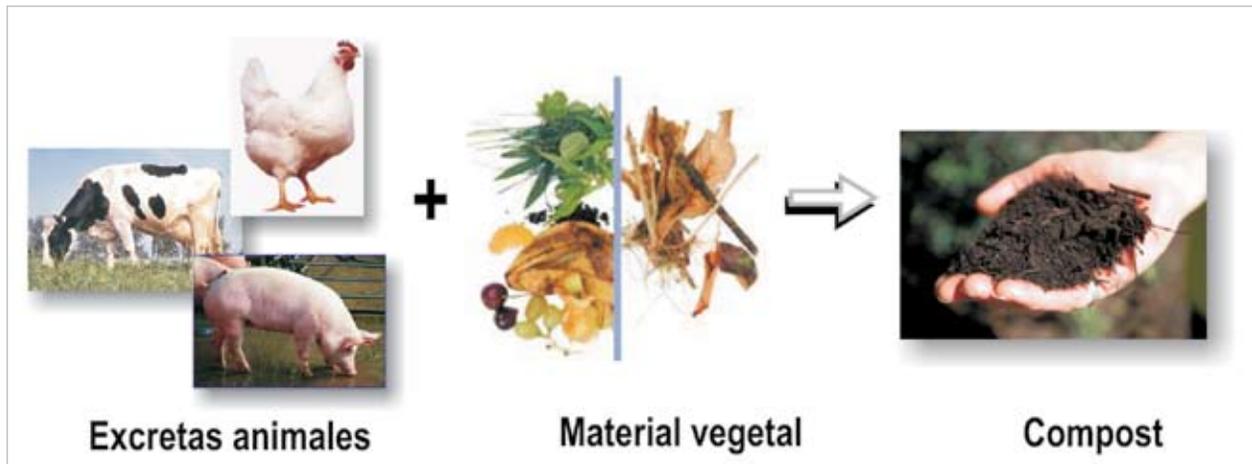
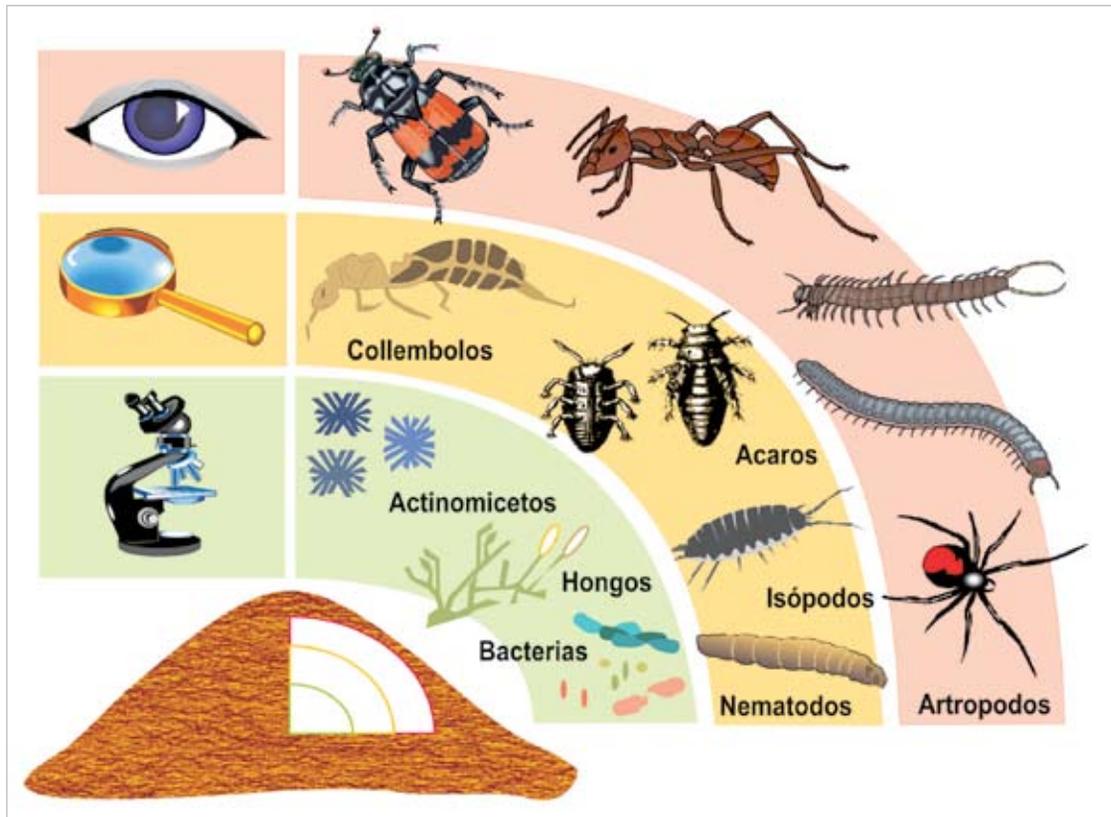


FIGURA 69. Proceso de compostaje.



Fuente:.. Compost... más que un abono.. Programa Regional Agrícola - Regional Uno CORPOICA, 2001.

FIGURA 70. Macro y microorganismos presentes en una pila de compost.



Fuente: Toscano L., A. Manual para elaboración de compost a partir de porquinaza y bagazo de caña. 2004.

- **Hongos.** Generalmente se encuentran en menor cantidad que las bacterias. Intervienen en la descomposición de restos vegetales y son muy hábiles descomponiendo fracciones de materia orgánica difícil de degradar como la

celulosa, hemicelulosa y lignina. Contribuyen a que la materia orgánica se transforme en nutrientes para las plantas, a través de su actividad *saprofítica*. Los hongos colaboran en la formación de humus.

- **Actinomicetos.** Son un grupo con propiedades intermedias entre bacterias y hongos. Cada uno está constituido por una sola célula, como las bacterias, pero su cuerpo se ramifica en pequeños hilos, como los hongos. Los actinomicetos son muy activos en la descomposición de la materia orgánica y consiguen atacar los materiales más resistentes, liberando nutrientes para las plantas.
- **Protozoos.** En orden de abundancia en el suelo están después de las bacterias y los hongos. Se alimentan de bacterias y hongos evitando que sus poblaciones crezcan demasiado. A su vez, sirven de alimento a nematodos, colembolos y otros organismos del suelo. Con sus excreciones nitrogenadas mejoran la disponibilidad de este elemento en el suelo.

8.5.2 MACROORGANISMOS

Una vez los microorganismos han utilizado los azúcares, proteínas y grasas como fuente de energía y nitrógeno para multiplicarse, los materiales de lento metabolismo ricos en carbono y las sustancias que no son degradadas fácilmente (como la lignina y celulosa de los materiales leñosos) son atacadas por los macroorganismos, que ingieren estas partículas y las transforman en su aparato digestivo. Los macroorganismos que se encargan de la degradación de la materia orgánica pertenecen, en su mayoría, al grupo de los invertebrados:

- **Gusanos.** Consumen residuos vegetales en ligero estado de descomposición o material orgánico descompuesto. Contribuyen a la formación de humus y sus excrementos mejoran las condiciones del suelo.
- **Las hormigas.** Su presencia y actividad incrementan el contenido de materia orgánica a través del consumo de restos vegetales y/o animales que al final de la digestión son depositados en sus deyecciones y exudados. Algunas ayudan desmenuzar material vegetal verde.
- **Las cochinillas.** Su color varía entre gris oscuro a gris pálido. La descomposición ocurre al pasar la materia orgánica por el intestino, para la posterior incorporación de sus heces. Están provistos de mandíbulas fuertes que les

permite masticar sustratos vegetales y animales duros.

- **Cucarrones.** Algunos consumen material vegetal, otros son depredadores y/o coprófagos. Estos últimos son los más importantes en la descomposición del estiércol y en su incorporación al suelo.
- **Ciempíes.** La mayor parte de su alimento lo constituyen pequeños artrópodos (insectos y arañas), aunque algunos pueden alimentarse ocasionalmente de tejidos vegetales.
- **Milpiés.** Abundan en la materia orgánica del suelo y son exclusivamente vegetarianos que consumen residuos vegetales en diferentes estados de descomposición. Asimilan cerca de la mitad de los materiales que ingieren, el resto lo devuelven al suelo en estado avanzado de fragmentación y descomposición, pero con pocos cambios químicos.
- **Arañas.** Son depredadoras y se alimentan de insectos y otras especies pequeñas.
- **Ácaros.** Pueden ser parásitos y vivir en asociación con algunas cochinillas, milpiés, ciempiés y huevos de otros invertebrados de la pila o actuar como depredadores sobre otras especies. Pueden ser descomponedores de materia orgánica, depredadores y consumidores de hongos.
- **Colémbolos.** Después de los ácaros son los animales más abundantes del suelo. Son consumidores de materia orgánica, hongos, esporas de hongos, bacterias y estiércol. Contribuyen a la transformación de partículas orgánicas y facilitan el incremento y distribución de los organismos del suelo. Son considerados indicadores de humedad, ya que son muy sensibles al desecamiento.

La Figura 71 presenta los diferentes grupos de macro y microorganismos que lideran el proceso de descomposición de la materia orgánica, a través de las diferentes etapas del proceso de compostaje.

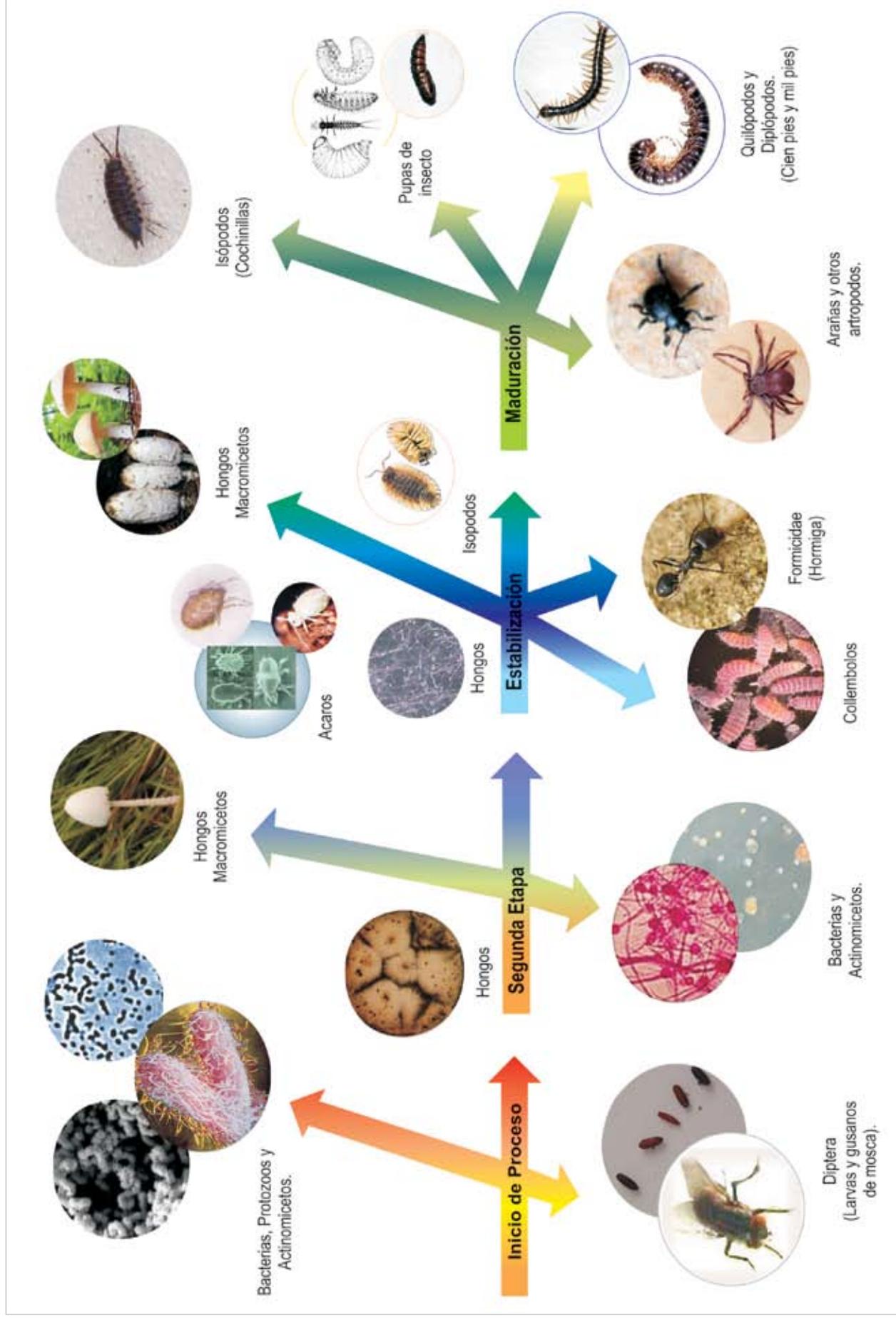
8.6 CONSIDERACIONES DEL PROCESO

8.6.1 ESTRUCTURA Y TAMAÑO DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR

Generalmente los residuos a compostar son de forma irregular y aunque algunos materiales pierden



FIGURA 71. Sucesión de los grupos de macro y microorganismos presentes en una pila de compost.



Fuente: Toscano L., Adriana. Manual para la elaboración de compost a partir de porquinaza y bagazo de caña., 2004.

rápida-mente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje (por ejemplo las excretas), otros, no obstante son muy resistentes a los cambios. Este es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales, donde la superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre, lo cual no es aconsejable para el desarrollo del proceso. En estos casos, se deben mezclar los residuos con otros de diferente estructura para aumentar la superficie de contacto. Si no se dispone de excretas u otro material de diferente estructura física, se debe recurrir al picado o triturado para lograr un tamaño adecuado y un proceso rápido. Un tamaño de partícula reducido, incrementa la velocidad de las reacciones bioquímicas durante el proceso, pero si el tamaño de la partícula es demasiado pequeño, se favorecerán condiciones anaeróbicas y la descomposición será lenta y producirá olores desagradables.

8.6.2 DENSIDAD

Un aspecto físico importante que define una adecuada formulación inicial es la porosidad que mantienen los residuos (estructura), propiedad que contribuye con la eficacia de aireación. La densidad está íntimamente ligada al tamaño de partícula y cuanto más bajo sea su valor, mayor será la capacidad de degradabilidad de la biomasa. En el caso de las excretas, que presentan una densidad alta, el material vegetal de densidad más baja permite ajustar su valor.

8.6.3 BALANCE DE NUTRIENTES

Por tratarse de un proceso de degradación biológica, se debe tener en cuenta que se desea favorecer el crecimiento de las poblaciones microbiales que componen la mezcla; esto implica conocer las necesidades nutricionales básicas de los microorganismos. Sin embargo el objetivo de compostar es dar solución al problema de generación de residuos orgánicos, independientemente de la cantidad generada y la naturaleza de donde éstos provienen. Es aquí cuando se pueden presentar problemas para llegar a conformar una mezcla adecuada, que contenga los residuos a tratar (de gran variedad composicional) y además cumpla con los requere-

mientos que exige un microorganismo para comenzar a metabolizar la materia orgánica.

□ Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

La velocidad bajo la cual la materia orgánica se descompone está determinada principalmente por las cantidades relativas de carbono y nitrógeno presentes. Para los microorganismos, el carbono es una fuente de energía y material para nuevas células y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica.

La relación C/N, expresa las unidades de carbono por unidades de nitrógeno que contiene un material. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción de los microorganismos. En general, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar el compostaje, habiéndose encontrado rangos entre 21 y 78. Si el residuo de partida es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la fermentación será lenta y la temperatura de la mezcla no será alta. La actividad biológica se limitará a la utilización del nitrógeno disponible y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 12-15 (considerada apropiada para uso agronómico) será mayor. Por el contrario, en altas concentraciones relativas de nitrógeno, este se transformará en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica pues la descomposición inicial es muy rápida. En este caso gran parte del nitrógeno se volatiliza traduciéndose en pérdidas importantes de este elemento.

8.6.4 HUMEDAD INICIAL DE MEZCLA

El agua es un medio indispensable para que los organismos degraden los compuestos orgánicos y sin ella la actividad de los microorganismos se reduce e incluso llega a detenerse. La humedad ideal para una biodegradación con predominio de microorganismos de respiración aeróbica, se sitúa entre el 40 y 60 %. No obstante, cuando la mezcla presenta valores altos de humedad (70-80%), no se tiene ningún problema si la pila cuenta con una estructura porosa que facilite la aireación y evaporación rápida del exceso de agua en la mezcla, impidiendo que el material se compacte.



8.6.5 pH DE LA MEZCLA

Las bacterias toleran un pH relativamente amplio. No obstante un pH cercano al neutro (pH 6,5 a 7,5) asegura el desarrollo de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos) o superiores a 8 (alcalinos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos.

8.7 RESIDUOS A COMPOSTAR EN LAS UPFT

8.7.1 MATERIALES VEGETALES

Corresponde a materiales verdes o viejos de las plantas, residuos de cosecha, paja, rastrojos o materiales leñosos. Estos materiales tienen un contenido relativamente bajo de nitrógeno y alto de agua y están constituidos principalmente por compuestos carbonados como la celulosa y lignina. Por tanto, se deben mezclar con estiércoles ó lodos, como fuente extra de nitrógeno para inducir y mantener el proceso de destrucción de tejidos carbonosos en el menor tiempo posible. Así mismo, el material vegetal se usa como fuente de carbono para hacer compostables los estiércoles de la UPFT. El bagazo, la hoja y el cogollo de la caña facilitan la compostación de estiércoles de porcinos, bovinos, equinos y aves de corral.

□ Hoja de caña

La hoja de la caña es un residuo de la cosecha de la caña y del deshoje natural de la planta. Se estima que en el cultivo quedan entre 12 y 26 t/ha de hoja, de acuerdo con el rendimiento, la variedad de caña y el manejo agronómico del cultivo. Las hojas secas, poseen cerca del 48% de materia seca y un contenido de fibra bruta del 42%, en promedio, el cual es muy alto respecto a otros materiales vegetales. Es un material con muy bajo contenido de nitrógeno y alto contenido celulolítico y presenta una elevada relación carbono nitrógeno, (62:1, aproximadamente). Este material es de lenta degradación, por carecer de una estructura porosa y bajo contenido de azúcares.

□ Cogollo y caña integral

El cogollo o palma y la caña integral se usan principalmente para la alimentación de equinos de labor, bovinos y ovinos. No obstante es posible tener excedentes o sobras de los comederos, que pueden ser utilizados para el compostaje. Por tratarse de un material verde (residuos recién cortados), presenta un alto contenido en sustancias nutritivas y una relación C:N media (40:1), favorable para la descomposición. Su estructura debe ser ajustada mediante el picado de residuos.

□ Bagazo

El bagazo es el material fibroso que sale de los molinos después de la extracción del jugo de la caña. Además de agua, el bagazo tiene material insoluble, principalmente celulosa (que constituye la fibra del bagazo) y azúcares e impurezas. Por los azúcares y estructura porosa, el bagazo se constituye en un excelente material para ser compostado, pues es digerido rápidamente por la acción microbial. Este material no requiere ser picado. La relación carbono-nitrógeno del bagazo es elevada (60:1) y por su alto contenido de carbono, necesita mezclarse con un material rico en nitrógeno para ser compostado.

□ Bagacillo

El bagacillo es el material de residuo de la pre-limpieza de los jugos. Esta constituido por fibras livianas muy pequeñas, ricas en agua y azúcares y partículas orgánicas (impurezas, hojas, insectos). Este residuo aparece en cantidades bajas en la UPFT y puede ser mezclado con otros materiales de la pila.

8.7.2 EXCRETAS ANIMALES

Formada por heces fecales y orina de las especies pecuarias, mezcladas con residuos del material usado como cama y del alimento y una cantidad variable de agua proveniente de los bebederos. Las características del estiércol varían significativamente entre las especies animales (aves, cerdos, ganado, ovinos y caprinos). Por ejemplo, los ru-

miantes pueden digerir un alimento alto en celulosa, mientras que los no rumiantes se alimentan con comidas de alto contenido proteico. Además, el estiércol se afecta por la edad del animal, dieta y sistema de producción. Las excretas poseen una cantidad considerable de humus (producto de la degradación en el aparato digestivo de los animales) y son el residuo de mayor aporte en cuanto a contenido de nutrimentos, para su uso como fertilizante o acondicionador de suelos. Estos se calculan con base en el aporte de N, P₂O₅, y K₂O (Tabla 37).

El nitrógeno de las excretas es el elemento de mayor aporte para la fertilización. En las excretas el nitrógeno total se compone principalmente de nitrógeno orgánico (40%) y de amoníaco (60%). La gran mayoría del nitrógeno de las heces fecales es orgánico, mientras que la totalidad del de la orina es amoniacal. En cerdos y aves de corral, como el alimento tiene niveles altos de proteína, el estiércol presenta un contenido mayor de nitrógeno, que el de especies rumiantes.

El contenido de fósforo en el estiércol de cerdos y aves es alto porque estas especies consumen dietas consistentes en granos de cereales y tortas de semillas oleaginosas, en los cuales la mayor parte del fósforo (60 a 80%) no es absorbido en el tracto digestivo y se excreta en el estiércol. No se presentan los mismos contenidos en rumiantes (equinos, bovinos, ovejas y cabras), debido a que su tracto digestivo es más eficiente en la utilización del fósforo.

Por otra parte, el contenido de potasio en la excreta de rumiantes, es mayor que el de las deyecciones de cerdos y aves de corral, siendo estas últimas donde se presentan menores trazas de este elemento. El mayor problema del manejo de las excretas es su elevado contenido de agua que varía del 70 al 95%.

8.8 MODELO DE CAMAS EN SISTEMAS DE EXPLOTACIÓN PECUARIA

Este modelo consiste en recoger la excreta animal, haciendo uso de un colchón de material vegetal dentro del piso de los corrales. En las UPFT el mejor material para cama de los animales es el bagazo, pero se pueden usar hoja de caña, paja, aserrín, viruta, tuzas y ameros de maíz y cascarilla de arroz, entre otros. Estos materiales contribuyen al bienestar de los animales y absorben el exceso de humedad (Figura 72).

Es indispensable que el material seleccionado para la cama presente una estructura porosa y una capacidad de retención de agua grande, ya que los purines (mezcla líquida orina+estiércol) tienen una humedad alta del 85 al 95%. Se debe tener en cuenta que el agua que se derrama de los bebederos también humedece el material de la cama. El contenido de humedad del material de cama determina la cantidad de material requerido. Entre más seco sea el material, menos se necesitará. La cantidad de material de cama

TABLA 37. Contenido de N, P₂O₅ y K₂O aportados por tonelada de estiércol, según la especie animal.

Clase de estiércol	kg de nutrientes por 1000 kg de estiércol. Base seca		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
De Caballo	67	23	72
De Vaca	34	13	35
De Cerdo	45	20	60
De Oveja	82	21	84
De Gallina	150	100	40

Fuente: Manual de caña de azúcar para la producción de panela. CORPOICA – CIMPA, 2000.



debe tenerse en cuenta para el diseño de las instalaciones pecuarias.

El objetivo de conformar este tipo de camas es: obtener una mezcla con una humedad apta para el compostaje (no un lodo), y conformar una mezcla adecuada de residuos vegetales-residuos animales, que cumpla con una relación apta para empezar el proceso de compostaje. Además, esta técnica sencilla de manejo facilita la recolección del estiércol, el cual usualmente es lavado con manguera, generando gastos de agua y ocasionando problemas ambientales e higiénicos en el interior de la finca y a fincas vecinas.

Según el manejo que se tenga de la cama, es posible realizar la siguiente clasificación:

8.8.1 CAMA BLANDA

La altura de la capa de material vegetal en el corral no supera los 10 cm. El material empleado para la cama permanece por un tiempo muy corto con los animales pues se humedece rápidamente se debe cambiar con frecuencia (Figura 72). Este sistema permite trabajar pequeños lotes (a diferencia de un sistema de cama profunda), facilita la manipulación de las pilas y demanda menor tiempo para operar el sistema (desmontaje de las camas, conformación de pilas, volteos, acopio y empaque de

material). Además permite tener una producción continua de abono. Cada lote de material que sale del cambio de la cama debe constituirse en una pila de compost y el material que ya está en proceso de compostaje no se debe mezclar con material fresco pues al final se obtendrá un producto de diferentes calidades, es decir que la materia orgánica presentará diferentes grados de descomposición.

8.8.2 CAMA PROFUNDA

En este modelo el material empleado para la cama acompaña al animal durante todo el periodo de ceba o levante. La cantidad de mezcla a compostar sale en un solo lote, una vez finaliza el periodo de cría, ceba o levante de la especie pecuaria, (Figura 72).

Este sistema, tiene como desventaja la compactación del material. En consecuencia cuando la cama se desmonta, se debe hacer mediante una pica. El tiempo que lleva arreglar el corral es mayor y requiere que los animales no se encuentren adentro. Adicionalmente el tiempo para iniciar el proceso de compostaje se amplía, ya que corresponde a el tiempo de levante o ceba, más el tiempo de compostaje y curado del material.

El modelo de camas profunda presenta dos formas de manejo, dependiendo de la forma como el material de cama se adicione a los corrales:

FIGURA 72. Modelo de camas para el manejo de sistemas de explotación pecuaria.



Cama blanda

Cama profunda

Fuente: Programa de procesos agroindustriales – CORPOICA - Tibaitatá, 2005.

- **El material de cama se adiciona periódicamente.** El material de cama se añade en la medida que se requiera y se acumula hasta completar el periodo de cría, ceba o levante de la especie. La cama no se cambia durante este tiempo.
- **Todo el material de cama se adiciona al inicio del proceso.** El material vegetal es agregado antes de que la especie pecuaria entre en el corral, es decir antes de iniciar su periodo de cría, ceba o levante. El material se voltea semanalmente para mantener la cama seca. En caso de ser necesario, se debe añadir al corral material seco, por lo menos a las partes mojadas y sucias de la cama. De no ser así, la capacidad de retención de humedad del material será nula y se tendrán problemas de manejo por saturación, consecuencia de la acumulación de excretas. El piso del corral debe ser en tierra.

Dependiendo del sistema de explotación pecuaria, la cantidad de material requerido varía así:

- **Explotaciones pecuarias de especies menores y/o Explotaciones de pequeña escala.** La altura de la capa del material vegetal alcanza entre 10 y 20 cm. Este manejo es para aves de corral o animales pequeños como co-

nejos. El piso puede ser en tierra o cemento (Figura 73).

- **Explotaciones pecuarias de especies mayores.** La altura de la capa del material vegetal alcanza entre 30 a 40 cm y se debe implementar para el manejo de animales grandes como cerdos, bovinos o cabras. Es usual el uso de infraestructuras grandes como son galpones de aves en desuso, bodegas o pabellones nuevos de bajo costo. Se recomienda piso en tierra (Figura 73).

La cantidad de material vegetal requerido para el manejo de la cama está en función de:

- Especie pecuaria.
- Número de animales.
- Volumen de excretas generadas en función de la edad o peso del animal.
- Sistema de producción (manejo de la cama).
- Relación carbono-nitrógeno de mezcla que se debe mantener para un buen compostaje.

Los beneficios de establecer el modelo de camas para el manejo de especies pecuarias son:

- La cama mantiene a los animales limpios y suministra comodidad al animal (Figura 74).

FIGURA 73. Modelo de cama profunda para especies menores y mayores.



Cama para pollos



Cama para novillos

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, Tibaitatá, 2005.



- Mejora circunstancialmente la higiene en los corrales, gracias a la reducción de poblaciones de zancudos y moscas y olores ofensivos.
 - Toda la excreta animal es aprovechada, lo que no se logra con otros métodos, donde la orina animal se pierde por lavado, lixiviación o volatilización. Es importante recordar que la orina constituye la mitad de la excreta y su valor radica en su aporte de nitrógeno amoniacal.
 - El tiempo empleado para la limpieza de corrales, es igual cuando se emplea material de cama, teniendo como beneficio adicional que el material de salida, presenta condiciones adecuadas para iniciar el compostaje.
- Gracias al pisoteo del animal, el material de cama y la excreta se mezclan eficientemente, lo que evita el pago de jornales adicionales por esta actividad.
 - El tiempo de compostaje de los residuos se reduce de forma circunstancial, aproximadamente de 7 a 15 días.
- Los problemas más comunes de manejo de la cama obedecen a:
- El material empleado para la cama es demasiado húmedo y/o no presenta una estructura absorbente que mantenga la cama seca.

FIGURA 74. Beneficios del manejo de instalaciones pecuarias en cama de bagazo.



Novillo sin cama de bagazo



Novillo en cama de bagazo



Cerdo sin cama de bagazo



Cerdo en cama de bagazo

Fuente: Programa de procesos agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

- Se adiciona poco material a la cama. La generación de excretas se incrementa en función del peso del animal y cuando están pequeños la cantidad producida de estiércol es baja, pero cuando crecen, la producción de excretas llega a ser 5 veces mayor y se requiere mayor cantidad de material vegetal para mantener la cama seca.
- Se adiciona demasiado material a la cama y no se hacen volteos. Tras pasar algún tiempo los problemas de higiene se empiezan a presentar pues el material del fondo de la cama se encuentra seco, mientras que el de la superficie se satura y presenta excesos de humedad y pierde su capacidad absorbente. El material de la superficie tendrá entonces una elevada carga de estiércol, mientras el material del fondo será pobre en excreta y permanecerá seco. En corto tiempo la generación de excretas y el agua que cae de los bebederos constituirán un lodo imposible de manejar. En estos casos se presentan problemas de olores ofensivos, saturación de la cama y proliferación de moscas (Figura 75).

8.9 TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

A nivel de finca, los sistemas de compostaje en pilas y cajones son los más recomendables por ser de fácil adopción y relativamente de bajo costo.

En la mayor UPFT, por el gran volumen de materiales a compostar, es más recomendable el manejo en pilas.

8.9.1 COMPOSTAJE EN PILAS

Consiste en apilar los residuos en montones y luego mediante volteos frecuentes, se mezclan los materiales, dejando la masa suelta para mejorar la aireación. Se recomienda construir pilas de 1,5 a 3,5 m de ancho y de 0,70 a 1,50 m de altura y dejar la longitud variable, en función de la cantidad de material, que a su vez es función del sistema de explotación, especie pecuaria y edad del animal, por lo cual es posible encontrar pilas muy largas y otras muy cortas (Figura 76).

Las pilas de compostaje no deben ser demasiado grandes pues esto dificulta su operabilidad, los volteos se hacen más difíciles, el paso de aire hacia el interior de la pila es nulo (favoreciendo condiciones anaeróbicas), la pérdida de humedad del material es baja y la degradación de los residuos más lenta y poco uniforme, obteniendo al final un producto de diferentes calidades.

8.9.2 COMPOSTAJE EN CAJONES

El compostaje en cajones consiste en depositar el material que sale de la cama, haciendo uso de un cajón con compartimentos o divisiones destina-

FIGURA 75. Problemas en el manejo de camas.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

FIGURA 76. Tamaño de las pilas de compost.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

dos para el volteo del material. Las dimensiones del cajón dependen del volumen de residuos, frecuencia de cambio de la cama, número de volteos programados (equivalente al número de divisiones del cajón) y el tiempo de compostaje de los materiales. Por esta razón no existe una medida única para el diseño de estos cajones. Se recomienda no construir cajones muy altos y angostos, pues a menor área expuesta el material tenderá a compactarse, presentar problemas de conservación de humedad y zonas anaerobias por la dificultad para la aireación del material. Se debe mantener una relación alto: ancho de 2:1 y establecer la longitud de los cajones en función de la cantidad de residuos a tratar.

8.10 INSTALACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST

Los requerimientos para implementar la producción de compost, son mínimos en cuanto a instalaciones se refiere y los parámetros que se deben tener en cuenta para la construcción de una compostera son:

- El área de compostaje depende directamente del volumen de residuos, frecuencia de cambio de la cama y del tiempo de compostaje (el transcurrido desde la conformación de una pila hasta la obtención de un compost estable).
- Las instalaciones para el manejo del compostaje, dependen fundamentalmente del sistema empleado. En pilas, se debe asignar un área amplia para su ubicación y con suficiente espacio para su manipulación. Esta área debe estar cubierta y encerrada por un muro o una malla (Figura 77).
- El sitio designado para la construcción de la compostera, debe estar cerca de las instalaciones pecuarias para que el transporte de los residuos sea rápido y fácil (Figura 77).
- Las instalaciones para el manejo de animales y del compost, deben estar en declive respecto a las instalaciones del trapiche, la casa y demás zonas habitadas (Figura 77).
- Los corrales y de la compostera deben estar lo más retirados posible del trapiche para evitar la contaminación microbiológica de la panela. La distancia mínima recomendada es de 50 a 80 m de la compostera y de los corrales a zonas sensibles como el trapiche y las casas.
- La distancia mínima de la compostera a las fuentes de agua, lago o río, es de 60 a 150 m.
- Una vez seleccionada el área de acuerdo a los criterios mencionados, se debe retirar malezas, arbustos u otros elementos que interfieran con la operación del sistema. Posteriormente se realiza la compactación y nivelación del terreno.

8.11 MANEJO DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE SEGÚN LA ESPECIE PECUARIA

8.11.1 CERDOS

Como se observa en la Tabla 38, la producción de excretas es variable a lo largo del tiempo y su valor se incrementa en la medida que el animal aumenta de peso y llega a ser 5 veces mayor hacia el final del periodo de ceba del cerdo. En la misma proporción se debe incrementar el material vegetal para la cama.

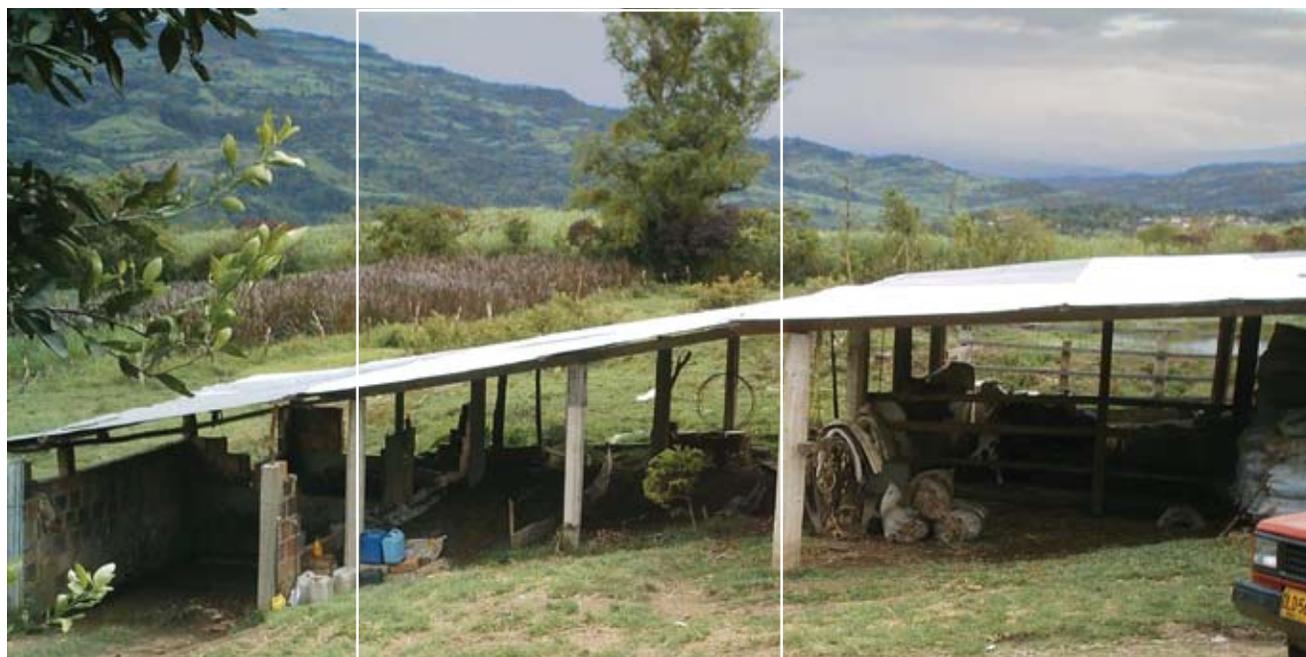
En las UPFT el material más recomendable para las camas es el bagazo ligeramente seco por el tamaño pequeño de las partículas y por su capacidad de absorción (Tabla 38).

Uno de los problemas más comunes es la falta de material suficiente para la cama. Esto obedece a la falta de planificación de la unidad pues la cantidad de material vegetal necesario se debe estimar con base en la cantidad total requerida por animal (Tabla 39). Es fundamental que se respete la cantidad de bagazo recomendada pues de lo contrario

- En suelos con baja impermeabilidad, se debe proceder a su impermeabilización para evitar la contaminación de las aguas subterráneas, por la generación de lixiviados.
- Es necesario establecer un pasillo, de 1,5 a 2,0 m entre las pilas para un manejo adecuado de las mismas.
- Para el compostaje en cajones, se debe tener un área de curado donde el material permanece unos 15 días antes de ser empacado. Esta área debe estar bajo techo y encerrada (Figura 78).
- Se pueden emplear diversos materiales para la construcción de la compostera, pero son preferibles los materiales propios de la región y de bajo costo. Los muros pueden construirse ser en bloque o guadua, aunque es posible cercar el área con una malla y el techo puede ser en teja, o plástico grueso (Figura 78).

De acuerdo con la técnica de compostaje seleccionada, el área para el procesamiento de los residuos debe estar de acuerdo a los diseños que se presentan en la Figura 79 y Figura 80.

FIGURA 77. Instalaciones animales y para el manejo del compostaje.



Área de almacenamiento

Área de compostaje

Área para el cuidado de animales

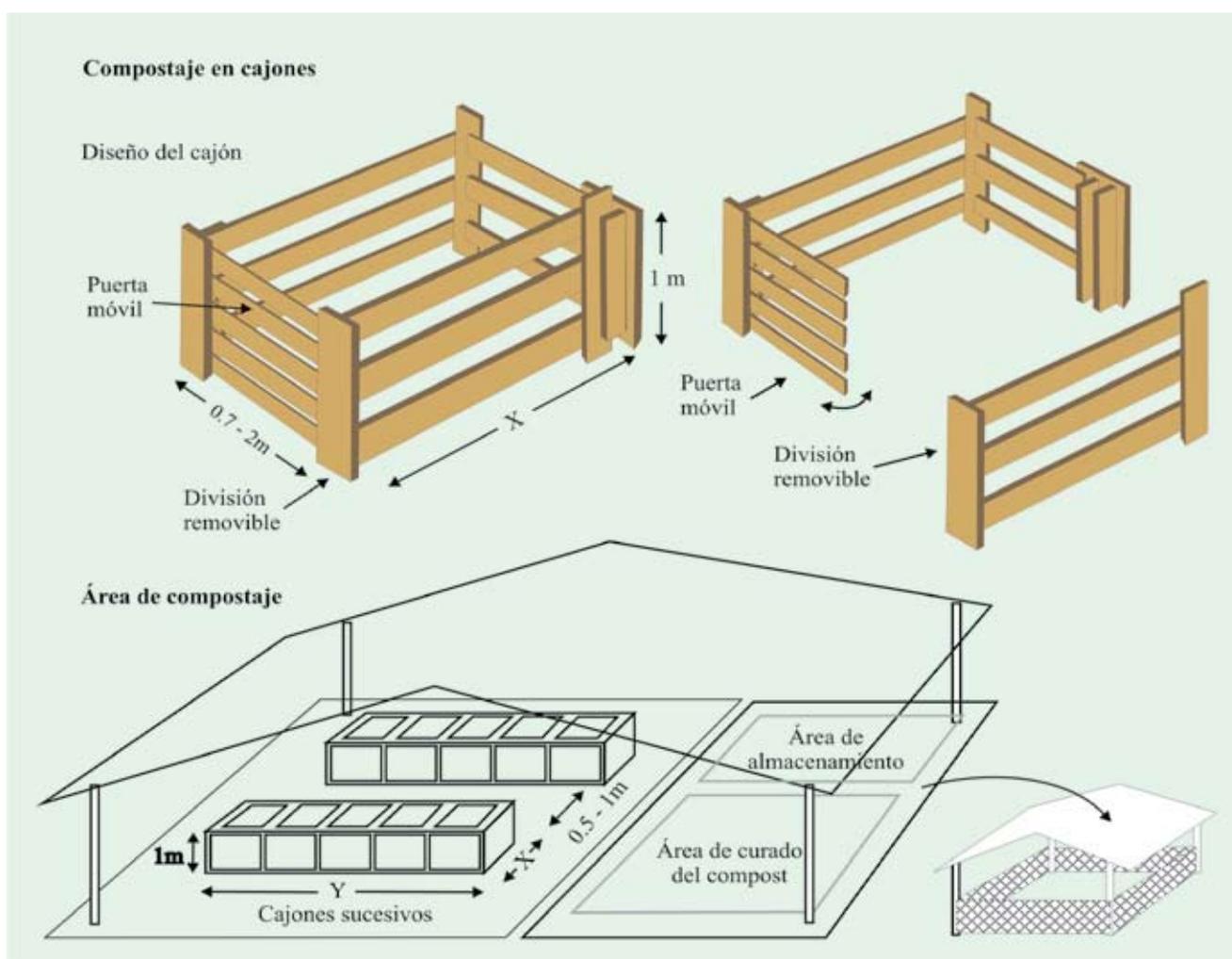
Fuente: Programa de procesos agroindustriales - CORPOICA, E.E. CIMPA, 2005.

FIGURA 78. Compostera - Área de curado y empaque.



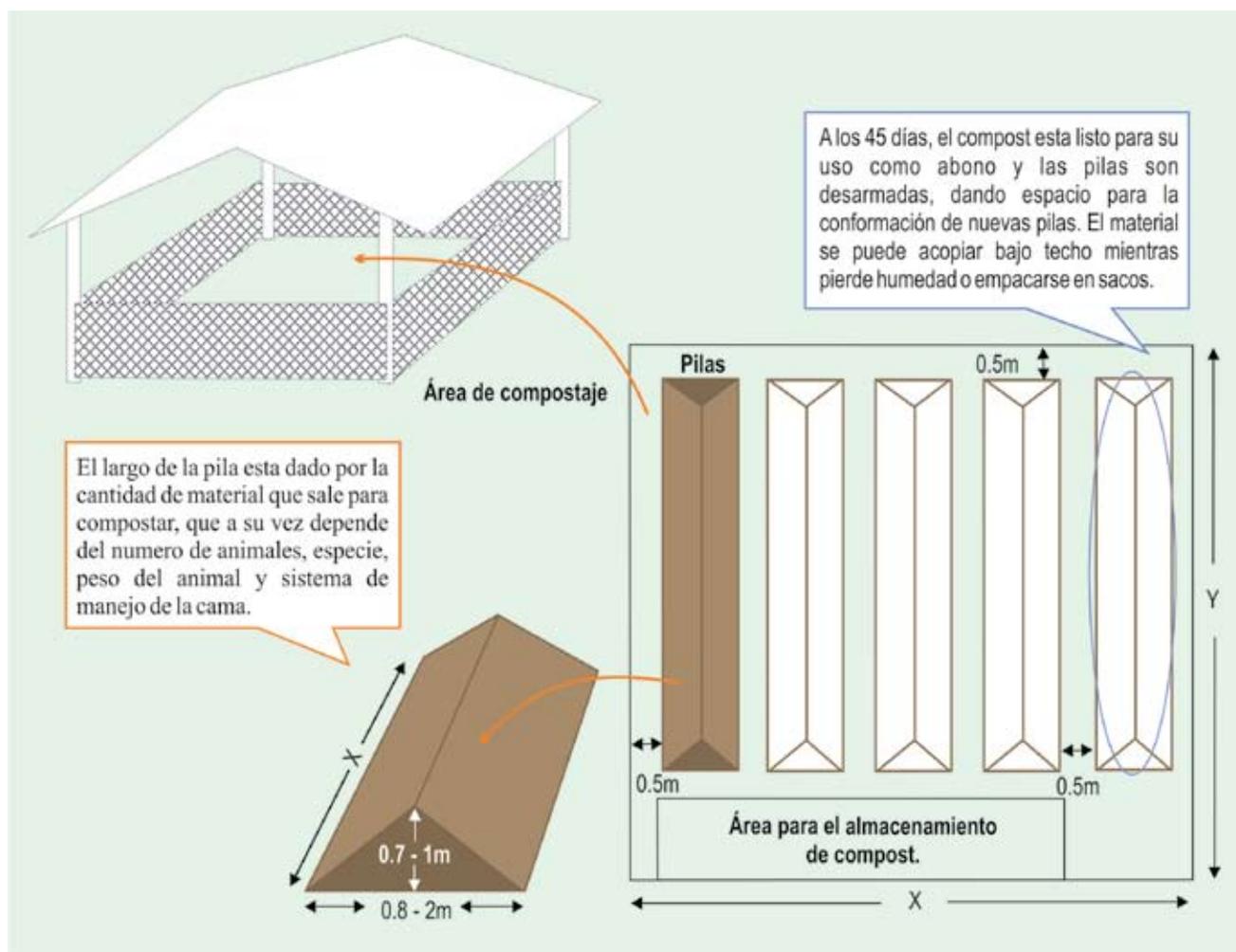
Fuente: Programa de procesos agroindustriales - CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

FIGURA 79. Diseño de la compostera, compostaje en pilas.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

FIGURA 80. Diseño del cajón para compostaje.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales - CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

TABLA 38. Requerimientos diarios de bagazo por cerdo en función del peso del animal.

Periodo de levante y ceba [días]	Peso del cerdo [kg]	Excretas generadas [kg/día/cerdo]	Bagazo requerido [kg/día/cerdo]
0 - 20	20 - 30	1,5 - 2,0	0,5 - 1,0
21 - 50	31 - 50	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5
51 - 70	51 - 70	4,0 - 5,5	1,5 - 2,0
71 - 90	71 - 90	5,5 - 7,0	2,0 - 3,0

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, C.I. Tibaitatá, 2005.

se tendrán problemas de higiene y de calidad del compost.

La caracterización del sistema para la producción de compost a partir de porquinaza y bagazo de caña se presenta en la Tabla 39.

8.11.2 BOVINOS

El manejo de camas para bovinos es muy sencillo y el estiércol de animales rumiantes, por sus características, no presenta mayores problemas de ma-

nejo, pese a que se generan mayores volúmenes de excretas por animal-día (Tabla 40). Como consecuencia de una dieta alta en fibra y materiales ricos en carbono y el bajo contenido de nitrógeno del estiércol, este huele muy poco y presenta una relación carbono-nitrógeno apta para su compostaje, es decir que no requiere ser mezclado con un material vegetal. Sin embargo, el alto contenido de humedad y la falta de una estructura porosa, limita el compostaje directo de la excreta. Por esto es necesario (aunque en menores proporciones) mezclar una fuente de origen vegetal como el bagazo. Observe como la cantidad de bagazo requerida por animal-día es igual en un cerdo de 90 kg que para un novillo de 340 kg (Tabla 38 y Tabla 40)

Como material de cama, para el manejo de novillos se ha empleado bagazo de caña, pero como se ha mencionado anteriormente es posible utilizar

hojas secas de caña, e incluso cogollo picado. La cantidad de bagazo requerido se calcula con base en el número de animales y el peso promedio del animal (Tabla 40).

CORPOICA ha desarrollado un modelo muy sencillo de camas de bagazo, para el manejo de novillos en estabulamiento (levante y ceba 300-450 kg). Este sistema consiste en mantener la cama durante un mes. El día que se conforma la cama, se adiciona la mitad del bagazo total requerido; posteriormente y de forma periódica, se va adicionando el bagazo restante en las zonas húmedas o sucias de la cama. En promedio, se calcula que una tonelada de bagazo es suficiente para el manejo de 10 novillos, sin cambiar la cama durante un mes. La cantidad de material que sale al desmontar la cama es de 6 toneladas aproximadamente, suficiente para producir 3 toneladas de compost por mes.

TABLA 39. Producción de compost a partir de porquinaza y bagazo de caña.

Peso de entrada del animal	20 kg Día Cero
Peso de salida del animal	90 kg Día Noventa
Periodo de levante	3 meses (90 días)
Promedio de excretas generadas	4 kg/animal/día
Excretas totales generadas	350-500 kg/animal/periodo de levante
Bagazo total empleado	120-200 kg/animal/periodo de levante
Compost producido	200 - 300 kg/animal/periodo de levante
Rendimiento	40 - 55%

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, C.I Tibaitatá, 2005.

TABLA 40. Requerimientos diarios de bagazo en bovinos en función del peso del animal.

Periodo de levante* [días]	Peso animal [kg]	Excretas generadas** [kg/día/animal]	Bagazo requerido** [kg/día/animal]
0	220	20	2,0
160	340	30	3,0
320	450	40	5,0
480	570	50	6,0

(*) Periodo de levante de acuerdo a las dietas en base a subproductos de la caña,

(**) Valor promedio

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA - C.I. Tibaitatá, 2005.

TABLA 41. Producción de compost a partir de bobinaza y bagazo de caña.

Peso de entrada del animal	280 kg Día 0
Peso de salida del animal	420 kg Día 180
Periodo de ceba	6 meses (180 días)
Promedio de excretas generadas	30 kg/animal/día
Excretas totales generadas	5 t/animal/periodo de ceba
Bagazo total empleado	600-750 kg/animal/periodo de ceba
Compost producido	2 ½ - 3 t/animal/periodo de ceba 40 -
Rendimiento	55%

Ensayos realizados en la Hoya del Rio Suarez.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, , E.E. CIMPA, 2005.

La caracterización del sistema para la producción de compost, a partir de bobinaza y bagazo de caña se presentan en la Tabla 41.

8.11.3 AVES

El manejo de aves de corral, es uno de los sistemas de explotación pecuaria, más simples para el manejo de camas. Tradicionalmente, la cascarilla de arroz ha sido empleada como material de cama; no obstante ensayos en UPFT muestran que el bagazo de caña (partícula de tamaño medio) es un material apto para ser empleado como cama en los galpones. Se estima que un pollo de 400 g genera 160 g de excrementos por semana y una gallina de 2 kg produce 0,8 kg de excrementos por semana. Donde se tienen menos de 100 aves, las cantidades de gallinaza o pollinaza y de material de cama son insignificantes y no justifican su tratamiento empleando la técnica de compostaje,

Para explotaciones de pequeña escala (100-500 aves), el manejo de la cama es muy sencillo. El bagazo se adiciona a la cama a partir de la 4ª semana y en ese momento el pollo debe pesar alrededor de 1,5 kg. El bagazo puede adicionarse periódicamente cada semana evitando molestar las aves. La cantidad de bagazo requerido se estima en 50 kg por cada 100 pollos. Hacia la 8ª semana, cuando el pollo pesa cerca de 2,5 kg, el corral se limpia y la pollinaza se pasa a compostar. La cantidad ob-

tenida es de 300 kg aproximadamente. Después de compostar la pollinaza se obtienen cerca de 200 kg de abono.

Para explotaciones de mediana escala (500-1000 ponedoras), el manejo de la cama consiste en agregar todo el bagazo desde el comienzo del periodo de levante, alcanzando una altura de 10 cm. Luego y en la medida que las aves crecen, el material se remueve para mantener seca la cama. Al final, la cantidad de gallinaza obtenida es de 5 t, aproximadamente. Se calcula que la cantidad de bagazo para la cama es igual a la cantidad de cascarilla empleada: 500 kg por cada 500 aves, manteniendo la cama durante 23 semanas, donde la gallina alcanza cerca de 2 kg de peso. En estos casos el costo del material de cama, llega a ser equivalente al 10% del costo total del proyecto, por lo cual emplear bagazo de caña, constituye una alternativa que contribuye a la reducción de costos, por compra de insumos externos.

8.12 CONTROL DEL PROCESO

En el manejo de aves, el material que sale de la cama presenta un contenido de humedad más bajo respecto al material que sale de los corrales de cerdos o bovinos, Por tal motivo, este material debe humedecerse para dar inicio con el compostaje de la mezcla.



Para lograr que el proceso de compostaje se desarrolle de forma adecuada, se debe observar el cambio de las variables críticas (temperatura, humedad y aireación) a lo largo del tiempo, Estas variables se consideran críticas porque pueden llegar a complicar, retardar o detener el proceso y en tal caso se debe tomar una acción correctiva.

8.12.1 TEMPERATURA

Sin duda alguna la temperatura es la variable más importante dentro de un proceso de compostaje. Esta variable determina el momento en el cual el proceso inicia y finaliza. Así, la decisión de desmontar la pila no recae en pruebas organolépticas (color y olor del material) que son poco confiables o en pruebas fisicoquímicas y biológicas que son demoradas y requieren del envío de la muestra al laboratorio.

A nivel finca se recomienda tener un termómetro para medir la temperatura. Si no existe, una forma muy sencilla para determinar si la pila ha empezado a calentarse es abrir la pila y observar si hay emanación de vapor, aunque muchas veces puede observarse el fenómeno de evaporación de agua y un ligero olor a amoníaco. En ese momento la pila debe estar alrededor de 60 a 75°C,

Este calentamiento se presenta durante los primeros días de hecha la pila y no deben pasar más de cuatro días sin que la mezcla empiece a calentarse. Si esto ocurre se debe verificar que la pila no tenga un contenido de bagazo muy alto o que la mezcla se encuentre demasiado húmeda o demasiado seca, Adicionalmente si se presentan pérdidas importantes de nitrógeno por emanaciones de amoníaco, la temperatura puede caer rápidamente y esto sucede cuando la mezcla es demasiado alta en estiércol. Posteriormente se presenta una caída ligera de la temperatura y desaparecen las emanaciones. En ese momento la pila se encuentra entre 50 y 40°C, Finalmente la temperatura cae y el material alcanza la temperatura ambiente (entre 25 y 32°C en clima calido). En ese momento es posible desmontar las pilas y agrupar el material en un solo montón.

8.12.2 AIREACIÓN

La aireación es uno de los principales parámetros a controlar en el compostaje aeróbico. Como re-

sultado de una mala aireación se dan condiciones favorables para fermentaciones y respiraciones anaeróbicas. En la práctica, esta situación se diagnostica por la aparición de olores ofensivos causados por la putrefacción de la materia orgánica y los procesos de amonificación. En una masa con una relación adecuada C/N, la anaerobiosis se produce por exceso de humedad y/o por una excesiva compactación del material.

Esta variable se controla mediante el volteo de las pilas. La frecuencia de los volteos dependerá de: la tasa de descomposición de los residuos, porcentaje de humedad, porosidad del material y tiempo de compostaje. Cómo la tasa de descomposición es mayor al comenzar el proceso, la frecuencia de volteos debe disminuirse en la medida en que se va llegando a la etapa final de compostaje, Dentro de las operaciones del compostaje, el volteo, es la operación que demanda mayor consumo de energía y mano de obra. Otro objetivo que se logra con el volteo del material es reducir el contenido de humedad hasta valores de 25 a 35%, recomendados para su empaque e incorporación al suelo.

8.12.3 HUMEDAD

La humedad es una condición que ayuda a controlar la actividad de los microorganismos y a dirigir el proceso hacia el predominio de microorganismos aerobios. Cuando la humedad es superior al 60%, se desplaza el aire existente entre las partículas de la masa y el medio se vuelve anaerobio y en consecuencia las pilas presentan un olor desagradable. Si la humedad es menor del 40%, se reduce la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento y con menos de 30%, las poblaciones microbianas pasan a fases estacionarias o en casos extremos mueren y el proceso de compostaje se detiene.

Una forma sencilla para determinar humedad adecuada de la masa en proceso de compostaje es hacer la *prueba de puño*. Se toma una muestra del centro de la pila y se aprieta en la mano: si el material presenta goteo continuo, tiene un contenido de humedad alto y se debe voltear o introducir y retirar palos, para hacer hoyos, en la pila, que permitan el paso del aire. Si al empuñar el material no

se presenta goteo y éste se quiebra con facilidad en muchas fracciones, el material está demasiado seco y necesita humidificarse. Los riegos se deben hacer en la primera etapa del proceso (15 primeros días) y no son aconsejables cuando la temperatura de las pilas ha caído y/o el material presenta una estructura mas fina, pues ya ha empezado la etapa de estabilización y curado del compost. Si al empuñar el material, este se abre y alcanza a sentirse húmedo, la masa cuenta con una humedad apta para continuar el proceso y no se debe regar.

8.13 CONDICIONES FINALES DEL PROCESO

8.13.1 PROCESO DE REFINACIÓN

El material que entra al sistema de compostaje presenta velocidades de degradación diferentes. Muchos materiales, por su estructura física y composición química, requieren mayores tiempos para perder su forma inicial y es frecuente que se presenten restos de materiales en distintas etapas de descomposición y, aún, componentes inorgánicos.

Por eso, para lograr un compost homogéneo se deben realizar operaciones de refinado (tamizado, molienda) (Figura 81).

Esta operación incrementa los costos de producción del abono y en algunas veces no se considera necesaria pues un compost muy fino pierde una de sus propiedades más importantes como es la de airear y contribuir a agregar los suelos, lo cual se consigue adicionando la materia orgánica en su forma original. Además un tamaño de partícula adecuado se logra al final del proceso si la materia orgánica sufrió una degradación intensiva, (Figura 82). Una ventaja de de pulverizar del material, es que es posible mejorar la biodisponibilidad de algunos nutrientes, para que estos sean tomados por las plantas en una forma mas rápida.

8.13.2 RENDIMIENTO

El rendimiento de un sistema de compostaje se encuentra entre 30 y 50% y es importante recordar que un buen proceso de degradación está acompañado de bajos rendimientos. El rendimiento se expresa como porcentaje en peso seco.

FIGURA 81. Molino empleado para la pulverización de compost.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA, E.E. CIMPA, 2005.



Para ello se debe estimar la cantidad de material que sale de la cama y conocer su contenido de humedad, y calcular la cantidad de abono producido y la humedad del material de salida, (Figura 83). En volumen, la reducción es cerca del 10%, como consecuencia de una reducción del tamaño de partícula y la transformación de los residuos en un material suelto y desmenuzado de bajo peso.

8.13.3 ACOPIO Y EMPAQUE

Una vez ha finalizado el proceso de compostaje, es conveniente acopiarlo bajo techo, ya que en la intemperie pierde rápidamente valores de sus nutrientes esenciales por lavado y lixiviación. El producto terminado y listo para el empaque tendrá una textura polvorienta y un contenido de humedad entre 10 y 20%. En el caso de las fincas el empaque se hace en lonas, que son fáciles de conseguir y de bajo costo. El empaque asegura el mantenimiento de la calidad del producto (Figura 83).

8.13.4 ASPECTOS SANITARIOS

Si el compost ha sido debidamente procesado, el material final no ofrece mayores riesgos sanitarios, salvo aquellos que puedan ser originados por elementos corto-punzantes que puedan haber venido con la materia prima inicial. Las mayores precauciones deben tomarse con la manipulación del material fresco, más aún si se trata de excretas y/o estiércoles.

Para evitar en lo posible la contaminación se han de observar una serie de medidas, como:

- Mantener las pilas de compost con un contenido en humedad inferior al 65% para minimizar la producción de lixiviados.
- Se debe emplear una pala para voltear el material y otra para retirar el material de la cama, para evitar la contaminación de la masa en compostaje, con microorganismos patógenos del material fresco.

FIGURA 82. Apariencia de la pila de compost después de su degradación.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA Tibaitatá, 2005.

FIGURA 83. Pesaje, acopio y empaque de lonas.



Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA - Tibaitatá, 2005.

- Cubrir las pilas con un material como bagazo seco o compost obtenido anteriormente, contribuye a aislar las moscas y a retener los olores.
- Evitar que las aguas y lixiviados que procedan de la zona de compostaje se viertan a los cauces de agua. Las escorrentías pueden canalizarse hacia las tierras de cultivo o recogerse en sitios apropiados y luego ser utilizadas para riego o para humedecer los materiales de compostaje que estén muy secos.
- Evitar la anegación de la zona de compostaje y conservar la distancia mínimas recomendadas para la ubicación de corrales y de la compostera a zonas habitadas y fuentes de agua.
- Almacenar los materiales de partida y los compost terminados en zonas cubiertas, lejos de aguas superficiales y vías de drenaje. Los materiales de partida que estén muy húmedos se han de almacenar bajo cubierta y de ser posible en una superficie impermeable para recoger los lixiviados.

8.14 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y APLICACIÓN DEL COMPOST

8.14.1 COMPOSICIÓN

La composición química y las características físico-químicas del compost obtenido, empleando el modelo de camas de bagazo para el manejo de cerdos y bovinos, se presentan en la Tabla 42.

8.14.2 APLICACIÓN

La cantidad de abono orgánico a aplicar por hectárea varía de acuerdo con las condiciones del suelo, cultivo, rotaciones y clima. Aplicaciones en dosis bajas y frecuentes reportan mejores respuestas de los cultivos que aquellas hechas con dosis altas y a intervalos más espaciados (un año o más). La aplicación continuada sobre la superficie del suelo y utilización de labranza mínima, permite no disturbar la capa arable y aumentar el contenido de materia orgánica. Adicionalmente a nivel de UPFT, se cuenta con la ceniza de trapiche, como fuente mineral; ésta es buena aportadora de fósforo, potasio y calcio (Tabla 43).

TABLA 42. Características fisicoquímicas del compost obtenido a partir de subproductos de las UPFT.

Elementos Analizados	Contenido. Base seca	
	Compost Mezcla Porquinaza-Bagazo	Compost Mezcla Bovinaza-Bagazo
Nitrógeno [N] [%]	3,10 - 4,32	2,06
Fósforo [P]	0,99 - 1,11	0,69
Potasio [K]	0,77 - 0,86	0,32
Calcio [Ca]	2,87 - 2,90	6,84
Magnesio [Mg]	0,30 - 0,35	0,84
Azufre [S]	0,23 - 0,50	0,63
Carbono [C]	19,5 - 28,4	23,90
Manganeso [Mn] [mg/kg]	290 - 321	44,2
Zinc [Zn]	556 - 944	268,0
Cobre [Cu]	290 - 335	71,7
Hierro [Fe]	1440 - 3323	925,0
Boro [B]	0,23 - 43,4	24,7
Relación [C/N]	6,30 - 6,57	11,61
pH	7,3 - 7,6	ND
Densidad [g/cm ³]	0,13 - 0,14	ND
% Cenizas	14 - 16	ND
% M.O.: Porcentaje en peso de materia orgánica.	34 - 49	41
% H: Porcentaje de humedad	51 - 57	ND
C.R.A.: Capacidad de retención de agua. [kg agua retenida/kg de material seco]	1,85 - 1,95	ND
Olor	Tierra	Tierra
Color	Marrón	Marrón

ND: Valor no determinado.

Fuente: Toscano, A. Basado en datos del Laboratorio de Recursos Biofísicos. CORPOICA, C.I. Tibaitatá 2004.

TABLA 43. Composición química de la ceniza de trapiche.

Composición Ceniza de Trapiche						
N [%]	P [%]	K [%]	C [%]	Ca [%]	Mg [%]	S [%]
0,14	1,75	1,2	1,67	5,16	0,53	0,36

(*) Porcentajes en base seca.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA - C.I. Tibaitatá, 2005.

Glosario

Actinomicetos. Grupo de bacterias caracterizadas por el crecimiento difuso, como el micelio de los hongos. Después de las verdaderas bacterias son los organismos más numerosos en la capa superior del suelo y muy importantes para su fertilidad.

Activador. Son materiales que se añaden a la pila del compost. Un activador introduce microorganismos que son efectivos en la descomposición de la materia orgánica y/o aumenta el contenido de nitrógeno.

Aeróbico. Que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito, se debe suministrar suficiente oxígeno, para asegurar que la descomposición sea rápida y sin olores desagradables.

Aerobio. Organismo que solo puede vivir y crecer en presencia de oxígeno libre.

Agregado. Es una masa o cuerpo formado por unidades de partículas. Un suelo se mantiene agregado gracias a la acción de los microorganismos y lombrices cuyos productos de desecho, actúan como un pegamento manteniendo las partículas de suelo unidas, creando grupos y agregado las partículas.

Agroquímico. En el contexto del compost, la palabra agroquímico describe pesticidas y fertilizantes sintéticos.

Anaeróbico. Ocurre en ausencia de oxígeno. La descomposición anaeróbica es lenta, genera malos olores.

Anaerobio. Organismo capaz de vivir y crecer en ausencia de oxígeno libre, o sea respira anaerobiamente. Los anaerobios pueden ser facultativos si normalmente respiran en forma

aerobia, pero pueden cambiar a la respiración anaerobia al escasear el oxígeno

Apanteles flavipes. Nombre técnico de la microavispa, parasitoide natural de larvas de *Diatraea sp.*

Apical. Parte terminal de los tallos y hojas de la caña.

Arcilla. Está constituida principalmente por minerales secundarios, con partículas menores de 0,002 mm. Tienen alta plasticidad y cohesión y alta capacidad de adsorción de agua, gases y cationes.

Arcillo limoso. Clase textural del suelo caracterizado por presentar en su composición una relación promedio de 10% de arenas + 50% de limos + 40% de arcillas.

Arcilloso. Clase textural del suelo caracterizada por presentar en su composición una relación promedio de 20% de arenas + 20% de limos + 60% de arcillas.

Áreas agroecológicas. Unidad geográfica de mayor extensión que un nicho agroecológico, con características homogéneas en cuanto a clima y suelos.

Arvenses.- Especies vegetales de carácter herbáceo que se desarrollan en medio del cultivo principal y sirven como coberturas protectoras del suelo y la microfauna; vulgarmente, se denominan malezas, ya que pueden competir con el cultivo por luz, agua y nutrientes.

Bacteria. Microorganismo que transforma la materia orgánica.

Bagazo. Es el residuo obtenido después de la extracción del jugo de la caña por cualquier medio, molino o prensa. El bagazo comprende



pues la fibra y la fracción de jugo que no se ha podido extraer.

Bancos de proteína. Áreas cultivadas con especies, generalmente leguminosas de corte y acarreo, cuyo follaje tiene niveles altos de proteína.

Barreras vivas. Barreras de protección y conservación del suelo conformados por especies vegetales de cultivos densos y sembrados a través de las pendientes.

Beneficio de la caña. Conjunto de operaciones tecnológicas posteriores al corte de la caña, que conducen a la producción de panela, según el orden siguiente: apronte, molienda, limpieza, evaporación, concentración, punteo y batido, moldeo, enfriamiento, empaque y embalaje.

Biodegradable. Material orgánico complejo capaz de ser descompuesto por microorganismos en compuestos químicos simples.

Biodiversidad. Riqueza de fauna y flora en un nicho determinado.

Biogas. Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable, cuyo componente principal es el metano.

Biomasa. Material vegetal constituyente de las plantas con diversos fines de uso.

Biótico. Hace referencia a un agente vivo que interactúa con un medio ambiente determinado.

Bovinaza. Excreta animal de bovinos y otros rumiantes.

Brix. Es la concentración de una solución de sacarosa pura en agua, que tiene la misma densidad que la solución a la misma temperatura. Si se adopta como base de comparación el índice de refracción, en lugar de la densidad, el valor obtenido se designa como “Brix refractométrico”.

Brotos herbáceos. Tallos inmaduros y muy poblados sin porción molible con apariencia de mata de pasto.

Buenas Prácticas Agrícolas-BPA. Conjunto de prácticas que buscan garantizar la inocuidad

de los productos agrícolas, la protección del ambiente, la seguridad y bienestar de los trabajadores y la sanidad agropecuaria.

Buenas Prácticas de Manufactura -BPM. Principios básicos y prácticas generales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano.

Cama. Se entiende por cama a la capa vegetal que se introduce en el sitio de residencia del animal (establo, galpón, porqueriza, etc.), con el fin de recoger las excretas generadas por estos.

Cangres. Porción de tallo utilizado como semilla o material de propagación en la siembra.

Caña soca. Hace referencia al cultivo obtenido una vez se haya realizado el primer corte o plantilla.

Caña. Planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las gramíneas. Materia prima para la elaboración de azúcar y panela.

Capacidad de campo. Humedad ideal del suelo, donde no hay sobresaturación de agua o encharcamiento.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Es la cantidad de cationes retenidos por un suelo en forma intercambiable a un determinado pH. Es una medida de las cargas negativas en los suelos, principalmente en los coloides de arcillas y materia orgánica.

CC. Cenicaja Colombia. Sigla asignada las variedades obtenida por dicha institución; Ej. CC 84-75.

Celulosa. Es un polisacárido, polímero de la glucosa, componente principal de las paredes celulares de las células vegetales. Material básico de construcción de las fibras vegetales.

Ceniza. Es el producto resultante de la combustión del bagazo.

Centro de acopio: Lugar donde los residuos sólidos son almacenados y/o separados y clasificados según su potencial de reuso o transformación.

Cepas. Es la parte de la caña formada por varios tallos, los cuales pueden variar entre 8 a 15 en número.

Cepillado de socas. Corte a ras de suelo, de los tocones o porciones de tallos que quedan después de realizado el corte o cosecha. Se realiza con el propósito de evitar daños por fermentación de las cepas.

Cerca viva. Hileras de árboles usados para delimitar un predio o proteger a otros cultivos. Generalmente, se emplean especies de uso múltiple que, además, provean forraje, leña, madera, flores, frutos y postes.

Cerosina. Compuesto de apariencia cerosa que cubre los entrenudos en los tallos de la caña.

Chorrillo doble. Sistema de siembra, que consiste en colocar la semilla en dos hileras continuas en el surco de siembra. Muy utilizado para garantizar alta población de tallos.

Chorrillo sencillo. Sistema de siembra, que consiste en colocar los cangres o trozos de semilla de manera continua en una sola hilera en el surco de siembra. Se emplea cuando la semilla es de muy buena calidad.

Chorrillo traslapado. Sistema de siembra, donde se hace una hilera continua de semilla y se superpone un trozo por cada dos. Es decir un chorrillo y medio. Se utiliza cuando la semilla no garantiza buen vigor.

Cogollo. Parte terminal del tallo de la caña constituido por la porción más tierna y el penacho de hojas verdes. Muy utilizado en la alimentación animal.

Componentes. Son los diferentes elementos individuales (cultivos, animales, árboles, pastos, etc.) que forman parte de un sistema agroforestal.

Compost maduro. Es el producto higiénico y estabilizado del compostaje. Se caracteriza por contener nutrientes disponibles para las plantas, así como una baja concentración de sustancias fitotóxicas.

Contaminante. Material indeseable. Los contaminantes físicos incluyen: vidrios, plásticos y piedras; mientras que los contaminantes químicos

están representados por trazas de metales pesados y compuestos tóxicos. Los contaminantes microbiológicos hacen referencia a los microorganismos patógenos.

Cortinas rompevientos. Se usan para proteger cultivos o animales. Mediante ellas, se busca la protección de diferentes cultivos, incluso donde la agricultura es intensa. Pueden tener una o varias hileras de árboles.

Densidad: Masa o cantidad de materia contenida en una unidad de volumen, en condiciones específicas.

Densímetro o sacarímetro. Instrumento que mide el contenido de azúcares en una solución azucarada.

Depresión de nitrógeno. Incorporación al suelo de materia orgánica con un alto contenido de carbono, puede originar una deficiencia de nitrógeno para las plantas, ya que estimula el crecimiento microbiano.

Desarrollo sostenible. El desarrollo que mejora la calidad de vida de los pueblos y las naciones sin comprometer la de las futuras generaciones.

Descomposición. Degradación de la materia orgánica en partículas pequeñas, hasta que el material original se haga irreconocible

Desecho. Término general para residuos sólidos excluyendo residuos de comida y cenizas sacados de viviendas, establecimientos comerciales e instituciones.

Deshije de retoños. Práctica de resiembra que consiste en aislar, con la ayuda de un barretón, retoños de una cepa; para luego, ser sembrados en un espacio perdido del surco.

Diatraea saccharalis. Nombre técnico de la larva de mariposa conocida como barrenador de los tallos.

Dióxido de azufre (SO₂): Polucionante gaseoso, inodoro, ácido, formado principalmente de la combustión de combustibles fósiles.

Dióxido de carbono (CO₂): Gas incoloro, inodoro y no tóxico que produce ácido carbónico. Se produce durante la degradación térmica y



descomposición microbial de los residuos sólidos.

Dióxido de nitrógeno (NO₂): Resultado de la combinación del óxido nítrico con oxígeno en la atmósfera. Es el mayor componente del smog fotoquímico.

Ecología. Estudio de la relación de los seres vivos con el ambiente en el cual se desarrollan.

Edáfico. Factor relacionado con el suelo como sustrato.

Emisión: Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

Encallado de socas. Apilado de la hojarasca y/o residuos, que quedan en el lote después de la cosecha., entre surco y surco, para estimular el rebrote de las cepas.

Enmienda. Es un material que al ser añadido al suelo, lo mejora aportando o balanceando los nutrientes, mejorando el pH o estimulando la presencia de microorganismos.

Entomopatógeno. Micro-organismos vivos como hongos o bacterias utilizados para el combate y control de insectos perjudiciales para el cultivo. Se emplean como estrategias en el control biológico.

Entrenudo. Porción del tallo de la caña ubicado entre dos nudos del mismo.

Entresaque o desgué. Práctica de cosecha, que consiste en recolectar las cañas maduras, dejando en el campo las inmaduras para su posterior recolección.

Enzima. Es un biocatalizador de naturaleza proteica. Facilita la descomposición de moléculas orgánicas complejas en moléculas más simples.

Esporas. Estructuras de reproducción de los hongos que producen enfermedades en los cultivos.

Estabilidad. Es el tiempo de permanencia del material compostado, que permite su aplicación al suelo sin causar problemas, ocasionados

por la descomposición de las moléculas biodegradables.

Excreta. Constituida por las fracciones sólida y líquida de las eses producidas en la digestión animal.

Fibra. Es la materia seca, insoluble en agua, de la caña.

Filológico. Hace referencia a un factor que tiene relación con los comportamientos y modos de acción de un ser vivo debidos a una serie de reacciones intrínsecas al mismo.

Fitoparásito. Micro-organismos relacionados con enfermedades en las plantas huéspedes.

Forraje. Alimento verde que se utiliza, fresco o seco, para alimentar a los animales.

Fotosíntesis. Proceso mediante el cual los vegetales transforman el agua y el gas carbónico (CO₂) en carbohidratos con la acción de la Energía solar.

Franco arcillo-limoso: Clase textural del suelo caracterizada por presentar en su composición una relación promedia de 10% de arenas, 60% de limos y 30% de arcillas.

Franco arcilloso. Clase textural del suelo caracterizada por presentar en su composición una relación promedia de 30% de arenas, 40% de limos y 30% de arcillas.

Franco arenoso. Clase textural del suelo caracterizada por presentar en su composición una relación promedia de 70% de arenas, 20% de limos y 10% de arcillas.

Franco limoso. Clase de suelo que presenta una relación de 20% de arena, 60% de limo y 20% de arcillas.

Franco. Clase de suelo que presenta una relación de 40% de arenas, 40% de limos y 20% de arcillas.

Gallinaza. Abono orgánico de origen animal, constituido por los excrementos sólidos de aves.

Grados Brix. Medida utilizada en unidades porcentuales para determinar el contenido total de sólidos solubles en el jugo de la caña o soluciones azúcaradas.

- Herbicidas.** Productos de síntesis química utilizados para el combate de malezas que crecen en el cultivo.
- Heterogeneidad.** Condiciones con alta desuniformidad en factores de clima, suelos, topografía y otras.
- Heterotrófismo.** Tipo de nutrición en la cual la principal fuente de carbono es orgánica. La mayoría de heterótrofos son quimiotróficos, es el caso de todos los animales y hongos y algunas bacterias. Pocos son fototróficos.
- Homópteros.** Insectos chupadores que se alimentan de sustancias azúcaradas extraídas de los tallos y hojas de la caña.
- Hongos.** Los hongos son organismos no fotosintéticos, que descomponen la materia orgánica.
- Humificación.** Se define como el conjunto de procesos de síntesis que terminan en la formación de compuestos húmicos, a expensas de los productos más o menos solubles resultantes de la descomposición de la materia orgánica fresca.
- Humus.** Compuesto por sustancias orgánicas de composición compleja, muy estable, resultante de la acción final de los microorganismos sobre los restos orgánicos. Contiene cerca de 30% de lignina, proteínas y celulosa., 3 a 5 % de nitrógeno y 55 a 60% de carbono.
- Incineración:** Procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante la oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Proceso de reducir los desechos a material inerte (escoria) y a productos gaseosos completamente oxidados mediante la combustión.
- Inocuidad.** Asegurar que los alimentos no causaran ningún daño físico, fisiológico o psicológico a los consumidores y que hay ausencia de peligros físicos químicos o microbiológicos que puedan afectar la salud del consumidor.
- Inoculantes.** Son los microorganismos dominantes que pueden ser añadidos a una pila de compost.
- Inorgánico.** Sustancia mineral. Un compuesto químico carente de átomos de carbono.
- Insecticidas.** Productos de síntesis química utilizados para el combate de insectos dañinos al cultivo.
- Intercalado.** Sistema de asocio de dos o más cultivos en una misma área de siembra, Ej. Caña intercalado con maíz, donde, el maíz es sembrado en el centro de la calle o espacio dejado por dos surcos de caña.
- Jayneleskia jaynessi.** Nombre técnico de la mosca nativa, parasitoide natural de larvas de *Diatraea sp.*
- Jugo residual.** Es la fracción de jugo que no se ha podido extraer y que queda en el bagazo.
- Labranza.** Es la tierra que ha sido preparada mediante el arado y la fertilización para el cultivo.
- Lalas.** Brotamiento de las yemas laterales del tallo de la caña aún estando en desarrollo.
- Leguminosas.** Grupo de especies cuyos frutos son legumbres o vainas; muchas tienen la capacidad de fijar nitrógeno.
- Lignina.** Es una molécula de materia orgánica compleja, que se encuentra en la pared celular secundaria, le imparte rigidez a las microfibrillas de celulosa.
- Lindero.** Son hileras de árboles que se plantan, generalmente, para delimitar parcelas, fincas o cultivos. Los árboles pueden ser podados, descopados, desmalezados y derribados dependiendo de la especie y el tipo de producto deseado.
- Lixiviado.** Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.
- Lodo:** Suspensión de materiales en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales, del tratamiento de efluentes líquidos o de cualquier actividad que lo genere.
- Lombricompost.** Producto obtenido de la digestión de residuos orgánicos por parte de las lombrices. Este presenta una apariencia oscu-



ra, suave, porosa y es inodoro, salvo por un suave aroma a tierra húmeda del bosque. Es utilizado para abonar cultivos.

Macollamiento. Etapa del cultivo de caña, en la cual se incrementa el número de brotes o tallos después de la germinación o del corte.

Macronutrientes. Nutrientes que requieren las plantas en altas dosis. Entre estos están: C, H, N, O, Ca, Mg, S, P y K.

Macroorganismo. Organismo vivo que habita en el suelo y que puede ser observado a simple vista, incluyen: arañas, lombrices de tierra, roedores, hormigas, escarabajos, babosas, caracoles, etc.

Madurez de la caña. Estado de sazonado que alcanzan los tallos de la caña; cuando, los azúcares están normalmente bien distribuidos desde la base hasta la parte terminal de los mismos.

Manchas cloróticas. Manchas translúcidas que han perdido su color verde natural y que contrastan con el color normal de las hojas.

Materia orgánica (MO). Está formada por dos tipos de materiales: los restos de animales y vegetales en diferentes fases de descomposición, y el humus resultante de reacciones entre nuevas sustancias formadas.

Materiales genéticos. Vegetales con características bien definidas en cuanto a su forma externa como interna en su composición físico-química y genética.

Melanaphys sacchari. Nombre técnico del pulgón gris, simbiote de la hormiga loca, que se alimenta de los azúcares de las hojas de la caña.

Metabolismo. Es el conjunto de todas las reacciones bioquímicas que ocurren en una célula o en un organismo. Incluyen las reacciones de síntesis (anabólicas) y de degradación (catabólicas).

Metales pesados. Corresponden a las concentraciones de elementos potencialmente tóxicos para los seres humanos, animales y plantas, como por ejemplo: cromo, cobre, níquel, cadmio, plomo, mercurio y zinc.

Metano. Hidrocarburo (CH₄) explosivo a altas concentraciones, se forma por descomposi-

ción anaeróbica de la materia orgánica por la acción de bacterias metanogénicas, en los rellenos sanitarios o los biodigestores.

Microbio. Es lo mismo que microorganismo.

Micronutrientes. Son los nutrientes requeridos por las plantas en pequeñas cantidades. Estos incluyen: B, Cu, Ni, Mo, Fe, Zn, Mn, Cl. Son componentes de proteínas o actúan como activadores de enzimas.

Microorganismos mesófilos. Bacterias que se desarrollan a temperaturas que oscilan entre 30 y 40° C.

Microorganismos termófilos. Bacterias que se desarrollan bajo condiciones calientes entre 40° C y 77° C.

Microorganismos. Seres vivos de pequeñas dimensiones. Este término no tiene validez taxonómica e incluye algunos animales. Entre estos están los hongos, bacterias, actinomicetos, algas, protozoarios, levaduras, nematodos, etc.

Minerales. Son elementos que suministran alimento y nutrientes a las plantas y microorganismos. En el estado mineral las partículas son inorgánicas.

Mineralización. Proceso de descomposición del material orgánico, liderado por los organismos del suelo. Como resultado la materia orgánica se transforma en dióxido de carbono, agua, minerales y en ácidos carbónicos, nítricos y sulfúricos.

Monocultivo. Explotación comercial del cultivo de una sola especie vegetal en un área determinada.

Mulch. Cubierta protectora del suelo. Hay varios tipos de mulch, como el compost parcialmente descompuesto, restos de cortezas, virutas de madera, paja, hojas, cascarilla de arroz, etc. Sirve para cubrir el suelo desnudo, impedir la escorrentía superficial, regular la temperatura del suelo, conservar la humedad y evitar el crecimiento de malas hierbas por falta de luz.

Nematodos. Gran filum de invertebrados marinos, de agua dulce y terrestres. La mayoría viven libremente pero muchos son parásitos.

Los nematodos presentan simetría bilateral con un cuerpo cilíndrico liso no segmentado que termina en punta en ambos extremos.

Nichos agroecológicos. Ambientes muy específicos caracterizados por presentar condiciones similares en cuanto al clima, suelos y medios de producción.

N-P-K. Es una fórmula de un fertilizante que contiene nitrógeno (N), fósforo como P_2O_5 y el potasio como K_2O . Estos tres macronutrientes son importantes para el crecimiento de las plantas.

Orgánico. Se refiere a algún material derivado de plantas o animales. Incluye cualquier cosa derivada de un organismo vivo o excretado por este. Esta palabra se emplea cuando se hace referencia a la fabricación de compost.

Paja. Está formada por las hojas, cogollos, tallos muertos, raíces, tierra, etc. Provenientes de la caña.

Parasitoide. Enemigo natural para combatir un insecto plaga perjudicial para el cultivo.

Paratheresia claripalpis. Nombre técnico de la mosca que parasita larvas de *Diatraea saccharalis*.

Paratrechina fulva Mayr. Nombre técnico de la hormiga loca.

Patógeno. Microorganismo capaz de producir una enfermedad, a una planta huésped o a un ser humano.

Pelusa. Vellosidad que cubre la superficie de la parte basal de las hojas.

Permeabilidad. Es la propiedad de los suelos de permitir el paso o movimiento de agua y de aire a través de todo el perfil. Los suelos arenosos son bien permeables.

pH. Medida numérica de la acidez o actividad de los iones Hidrógeno del suelo.

Pila o montón. Conformada por la agrupación y mezcla de los residuos a compostar.

Precoces. Calificativo dado a las variedades de período vegetativo relativamente corto.

Producción más limpia PML. Estrategia ambiental preventiva e integral aplicada los procesos con el fin de aumentar la eficiencia en todos los campos y reducir riesgos al ser humano y al medio ambiente.

Proteína. Es una macromolécula compuesta por una secuencia lineal de aminoácidos. Las proteínas son los principales componentes estructurales de las células.

Protozoos. Fílum o subreino de organismos microscópicos unicelulares que tienen forma vegetal o que se comportan y alimentan como animales. Algunos forman colonias y muchos son parásitos.

Pulvinaria sp. Insecto homóptero chupador, simbionte de la hormiga loca, conocido como escama verde, y se alimenta de los azúcares de las hojas de la caña.

Pústulas. Síntoma característico de los hongos que provocan la enfermedad de las royas, las cuales liberan una gran cantidad de esporas del patógeno.

RD. República Dominicana, sigla asignada para nominar una variedad de caña; Ej. RD 75-11.

Refractómetro. Instrumento que mide la refracción de la luz utilizado para cuantificar el contenido total de sólidos solubles en el jugo o soluciones azucaradas; la unidad de medida se da en escala de grados brix.

Relación carbono/nitrógeno (C/N). Cantidad de carbono con respecto al contenido de nitrógeno de un material. Es un parámetro para determinar la calidad y grado de descomposición de un material orgánico.

Relleno sanitario. Depósito de basura, que se realiza en zanjas o huecos cubiertos con tierra. Actualmente los rellenos usan una tecnología especial para eliminar el gas metano y las filtraciones tóxicas.

Residuo sólido domiciliario. Residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a éstas.



- Residuo sólido.** Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico. Se dividen en aprovechables y no aprovechables.
- Residuos inorgánicos.** Incluye los residuos de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. En esta categoría se incluyen metales, plásticos, vidrios, etc. Desechos de agroquímicos, fitosanitarios y veterinarios, son en su mayoría de origen sintético y con gran efecto residual.
- Residuos orgánicos.** Se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos. Incluye diversos residuos originados naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos.
- Residuos peligrosos.** Productos que por sus características infecciosas, combustibles, inflamables, explosivos, radiactivas, volátiles, corrosivas, reactivas o tóxicas pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente.
- Resiembra.** Práctica cultural de manejo de cultivo que consiste en rehabilitar espacios perdidos de terreno, donde las cepas y retoños hayan desaparecido.
- Respiración aerobia.** Respiración en la cual el oxígeno libre se utiliza para oxidar substratos orgánicos y convertirlos en dióxido de carbono y agua, con alta producción de energía.
- Respiración anaerobia.** Respiración que se encuentra en levaduras, bacterias y ocasionalmente en los tejidos musculares en ausencia de oxígeno, con producción de energía baja.
- Roca fosfórica.** Material de origen orgánico obtenido de rocas naturales que se caracteriza por tener altos contenidos de Calcio, Fósforo y/o Magnesio, utilizado en abonamiento y ajuste de la acidez del suelo.
- Sacarosa.** Azúcar propiamente dicho cuya fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$
- Saccharicoccus sacchari.** Nombre técnico de la cochinilla rosada, o chinche harinoso, o chinche rosado, simbiote de hormiga loca, que se ubica en los nudos de los tallos de la caña.
- Saprofito.** Organismo que se nutre tomando productos o restos de otros organismos. Generalmente hongos y bacterias que devuelven los nutrientes a la tierra por putrefacción y descomposición.
- Sazonado.** Punto de concentración de sacarosa en los jugos que determina la madurez de la caña.
- ScMV.** Sugar Cane Mosaic Virus – Virus del Mosaico Común de la Caña.
- Semillero.** Área específica, destinada a la multiplicación de material para propagación en futuras siembras, en las cantidades requeridas y en el tiempo oportuno.
- Separación en la fuente.** Clasificación de las basuras y residuos sólidos en el sitio donde se generan. Su objetivo es separar los residuos que tienen un valor de uso indirecto, de aquellos que no lo tienen.
- Simbiote.** Especies de insectos, que establecen una relación de cooperación para su supervivencia; Ej. Hormiga loca con el chinche rosado o harinoso.
- Sipha flava.** Insecto chupador, conocido con el nombre vulgar de pulgón amarillo. Se ubica en el envés de las hojas de la caña, de donde extrae los azúcares para su alimentación.
- Soluciones fungicidas.** Mezcla de agua y un producto de síntesis química para el control de hongos causantes de enfermedades en las plantas.
- Suelo arcilloso.** Suelo con partículas de arcilla y pocos espacios porosos. Con alta capacidad de retención de agua y pobre drenaje.
- Suelos arenosos.** Están constituidos por minerales primarios. La cantidad de espacio poroso es pequeña, aunque los poros individuales son grandes. Tienen baja capacidad de retención

de agua y de elementos minerales, ya que son muy permeables. La fracción arena ocupa el 70% o más de todo el material en peso.

Supia. Rastrojo que se va acumulando en el piso de la bagacera producto del desprendimiento de bagazo cuando se abren surcos en las pilas de bagazo para evitar la combustión interna de este.

Termoterapia. Tratamiento a base de calor aplicado a las semillas de caña para el tratamiento y control de enfermedades o insectos plagas.

Texturas pesadas. Suelos con alto contenido de arcillas y limos, con tendencia a encharcarse.

Tiempo de compostaje. Tiempo transcurrido desde la conformación de una pila hasta la obtención de compost estable.

Toxina. Sustancia de naturaleza proteica elaborada por los seres vivos, especialmente por los microbios, y que actúa como veneno, aún en pequeñas proporciones.

Trapiche. Unidad productiva dedicada a la actividad agrícola de obtención de panela a partir de la molienda de caña.

Trichogramma exigum. Nombre técnico de la microavispa, que parasita los huevos de *Diatraea*.

UPFT. Unidad Productiva Finca-Trapiche.

Ustilago scitaminea. Nombre técnico de la enfermedad del carbón de la caña de azúcar. Su nombre está asociado por la producción de esporas de color negro.

Vectores. Organismos, generalmente insectos o roedores que transmiten enfermedades. Medio de transmisión de un patógeno de un organismo a otro.

Volteo. Darle vuelta a la pila de compost, de tal forma que el material de arriba esté luego debajo, facilitando la aireación de la masa compostante.



Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Recomendaciones Para la Disposición de Residuos, 2005.
- ALBARRACIN C Luis Carlos. M.V.Z.- CORPOICA. Manual de porcicultura. Programa de Procesos Agroindustriales - CRECED Tequendama Cundinamarca, 2003.
- _____. Manual de Avicultura. 2003. Subdirección de Investigación e Innovación Programa de Procesos Agroindustriales - CRECED Tequendama Cundinamarca. 2003.
- _____. Manual de bovinos. Subdirección de Investigación e Innovación Programa de Procesos Agroindustriales - CRECED Tequendama Cundinamarca. 2003.
- BENAVIDES, Jorge. Utilización de la Morera en sistemas de producción animal. Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. www.fao.org/livestock/agap/frg/afriis.
- BONILLA, C. Carmen. et. al. Cuadernos Ambientales No. 5. El suelo: los microorganismos que lo habitan. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. PRONATTA. Instituto de Estudios Ambientales IDEA.
- CABALLERO Torres. et. al. Guía para la confección de programas de limpieza y desinfección en establecimientos de alimentos. Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. www.bvs.sld.cu.
- CASTILLO, E. Fundora, O. González, R.; Estrategias de alimentación para ganado bovino en el trópico. Banco de México FIRA e ICA Habana, Cuba. Octubre, 2000. 207 p.
- CASSALETT, D. Clímaco. et. alli. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. CENICAÑA. Valle del Cauca, Colombia. 1995. p. 412.
- COEPA. Confederación Empresarial de la Provincia de Alicante. Guías para la mejorar de la gestión preventiva. Base de datos en línea. www.coea.es/prevenccion/guías.
- Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT). Alimentación animal: Morera, un forraje todo en uno. Diario "El Mercurio". 15/11/2004. Santiago - Chile.
- CALAD, Álvaro U. Silvopastoreo: Alternativa para mejorar la sostenibilidad y competitividad de la ganadería colombiana - CORPOICA. Colombia, 1996. 294 p.
- FAO. Sistema de información de los recursos del pienso. www.fao.org/ag.
- FIGUEROA, V. Producción porcina con cultivos tropicales y reciclaje de nutrientes. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). 1996. 153 p.

- GARCÍA B., Hugo. et. al. Oportunidades de la producción más limpia en la industria panelera. Programa de Procesos Agroindustriales – CORPOICA C.I. TIBAITATA, 2004.
- _____. Manual para la selección, montaje y operación de los equipos de molienda para la producción de panela. Barbosa, S. Agosto de 1991. p 103
- _____. Elaboración y usos del melote. En: Plan de ajuste y transferencia de tecnología para Cundinamarca, Bogota, Corpoica-ICA, Gobierno de los países bajos. Colombia 1996. 153 p.
- GÓMEZ P., S. - SANCHEZ, E.O. (s.f.) Fertilización nitrogenada en la caña de azúcar. Revista ICA (Colombia) Vol. 3, No. 4. p. 357 – 368.
- GÓMEZ, M. Uso de los árboles en sistemas de producción. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). www.cipav.org.co/cipav/resrch/agfor/meg.htm.
- GÓMEZ. M. E., et all., Árboles y arbustos forrajeros utilizados en alimentación animal como fuente proteica. Editado por CIPAV. 1995. Cali, Colombia. 129 p.
- GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM). Manejo y evaluación de gallinaza como materia prima para la formulación de abonos orgánicos (Fase II). Universidad de Antioquia. Julio de 2000.
- HERNANDEZ, Henry. Manual de tecnologías apropiadas en agua potable y saneamiento básico. Organización Panamericana de la Salud (OPS) - Banco Mundial. www.disaster-info.net. 2000.
- INSUASTY B., Orlando. et. alli. La Resiembra: Una práctica regenerativa en cultivos de caña panelera. Corpoica – E. E. Cimpa. Imprecol S. A. Bucaramanga. Plegable técnico. 2000.
- MALDONADO, G. et. al. Sistemas agroforestales: Una experiencia participativa con productores de caña panelera. En: Innovación y cambio tecnológico. CORPOICA. Vol. 4, No.1 (Ene. 2004).
- MANRIQUE E., R. et al. Avances de resultados de las actividades ejecutadas en 1992 por el programa caña panelera. ICA – CIMPA. Barbosa. p. 1991 – 154
- _____. et al. Manual de caña de azúcar para la producción de panela. Corpoica. II Edición, Litografía la Bastilla Ltda. Bucaramanga. 2000. p. 154
- _____. Recomendaciones básicas para el buen manejo del cultivo de la caña panelera. MADR – PAIPPEC. Corpoica – E. E. Cimpa. Plegable técnico. 2005.
- MARÍN, G. El análisis del suelo y las recomendaciones de cal y fertilizantes para diversos cultivos. 4ª aproximación. Instituto Colombiano Agropecuario. Tibaitatá. 1980. 83 pp.
- MUÑOZ ARAQUE, R. Características de los suelos y fertilización de la caña panelera en Antioquia. En: Producción de caña y elaboración de panela. Instituto Colombiano Agropecuario. Federación Nacional de Cafeteros. Medellín - Colombia. . 1986. p. 59 – 63.
- MUÑOZ, R.; MOLINA, L. Respuesta de la caña, variedad POJ – 2878 a dosis y fuentes de fósforo en suelos de ladera en Antioquia. Revista ICA. (Colombia), Vol. 17 No. 2. 1982. p. 51-58.
- PRAGER, Martín., et al. Agroecología. Una disciplina para el estudio y desarrollo de sistemas sostenibles de producción agropecuaria. Universidad Nacional de Colombia. 2002. Palmira, Colombia. 333 p.



- PRESTON, T. - ROSALES, M. Sistemas intensivos para la producción animal y de energía renovable con recursos tropicales. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Cali-Colombia, 1988.
- Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico –RAS-. Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Bogotá, Noviembre 2.000.
- ROSALES, Mauricio; RIOS, Clara. Avances en la investigación en la variación del valor nutricional de procedencias de *Trichanthera gigantea* (Humboldt et Bonpland) Nees. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV).
- RUSSO, Ricardo., BOTERO, Raúl. El componente arbóreo como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda, EARTH. www.virtualcentre.org/es.
- SALAZAR, J. Guía de reforestación. Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. III Edición. 1997. Bucaramanga, Colombia. 213 p.
- SÁNCHEZ, L., et al. Evaluación de sistemas de alimentación en bovinos y porcinos con base en subproductos de la caña para panela. CORPOICA- PRONATTA. Bogotá, Colombia, 2000. 51 p.
- SARRIÁ, P. Forrajes arbóreos en la alimentación de monogástricos. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín Departamento de Producción Animal. www.virtualcentre.org.
- SZTERN, Daniel. PRAVIA, Miguel A. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana De La Salud. Organización Mundial Para La Salud.
- TOSCANO LATORRE, Adriana. Manual para la elaboración de compost a partir de porquinaza y bagazo de caña. Énfasis en fertilización orgánica. Corpoica, C.I. Tibaitatá. Bogotá D.C., 2004.
- TRUJILLO NAVARRETE, Enrique. Manual de Agroforestería. En: Sistemas de Información Geográfica Revista informativa del proyecto SIG –PAFC. Año 4, Número 15. (Dic. 1997).
- ZAPATA, C. A.; Utilización de la caña de caña de azúcar y sus derivados en la alimentación porcina. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). 2000. 152 p.

Terminó de imprimirse en
febrero de 2007 en



Tel: 2885338
Bogotá, DC, Colombia