

Sorgos Dulces (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) nueva Biomasa para producción de Alcohol Carburante y Cogeneración de Energía



Jaime Humberto Bernal Riobo jhbernal@corpoica.org.co

Ruby Stella Hernandez rehernandez@corpoica.org.co

Contenido

1. Generalidades del cultivo de sorgo dulce.
2. Experiencias de producción de sorgo dulce en el mundo y potencial producción de etanol.
3. Estado Actual Desarrollo de Germoplasma de Sorgo Dulce Colombia

Existe amplia diversidad genética.

El sorgo dulce es una especie C₄, caracterizada por una alta eficiencia fotosintética, de días cortos, y amplia adaptación.

Temperatura óptima entre 25-35 °C/15-20 °C, tolerante a la sequía y altamente eficiente en el uso del agua.

Es una planta de ciclo anual, que logra la madurez fisiológica entre 90 – 120 días después de siembra y alcanza una altura de 4 m.



Tipos Diferentes de Sorgo– Perfiles Diferenciales de Carbohidratos y Rendimiento de Biomasa

- **Sorgo de Grano**
 - grano: almidón
 - tamo: lignina, celulosa
- **Sorgo Dulce**
 - Grano: almidón
 - tallo: solidos solubles
 - bagazo: lignina, celulosa.
- **Sorgo de Alto Tonelaje**
 - Toda la planta: lignina, celulosa



Sorgo dulce (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

La mayor parte de los carbohidratos formados durante la fotosíntesis son transformados a azúcares y almacenados en el tallo.

Presenta un alto potencial de producción de forraje y adecuado ciclaje de nutrientes.

No es utilizado en la alimentación humana.

Puede ser implementado en sistemas de rotación de cultivos.

Infraestructura para siembra mecanizada esta desarrollada.



- El sorgo dulce es un cultivo multipropósito usado para:

- Jarabe



- Forraje para ganado
- Bioetanol
- Fibra para la generación de electricidad e industria del papel



Repartición de materia seca en materiales de sorgo dulce y grano

Órgano	Sorgo Dulce Variedad	Sorgo Grano Híbrido
Tallo	60.3	23.3
Vainas	9.6	7.9
Hojas	14.4	11.7
Panicula+Grano	15.3	57.1

Fuente: FAO, 2002

Composición del tallo en dos variedades de sorgo dulce



Componente	Keller¹	Rio²
	% Materia Verde	
Total azúcar	16.8	18.0
Sacarosa	13.8	16.5
Glucosa	2.0	1.0
Fructosa	1.0	0.5
Total Fibra	13.3	8.2
Celulosa	5.5	3.7
Hemicelulosa	4.5	3.1
Lignina	3.3	1.4
Agua	67.5	70.0

1. Mamma et al., 1996

2. Billa et al., 1997

Importancia del Sorgo Dulce como Biomasa para Biocombustibles

- El sorgo dulce puede ser cultivado en zonas marginales para caña que se encuentran alrededor de la zona de producción de caña o en rotación con la caña de azúcar en regiones nuevas en caña de azúcar (caso Brasil).
- Las ventajas comparativas del sorgo frente a la caña son su propagación por semilla y alta producción de biomasa en un menor tiempo.
- La infraestructura existente en la agroindustria de caña de azúcar y alcohol carburante (equipos de cosecha y fabrica) pueden ser utilizados en sorgo dulce, y en algunas regiones geográficas puede ser utilizado como completo a la caña de azúcar para ampliar el periodo de producción de biomasa.

- **Días a Floración:** 75-85 días
- **Días a Madurez:** 90-110 días
- **Altura de Planta:** 2.8-3.4 m
- **Rendimiento de Caña:** 35-50 t ha⁻¹
- **Rendimiento de Grano:** 2.5-4.0 t ha⁻¹
- **Jugo extraíble:** 40-50%
- **Brix:** 14-19
- **ATR:** 13.0-16.0%
- **Sacarosa:** 9.6-13.6%
- **Azúcares reductores:** 1.3-2.1%
- **Rendimiento de etanol:** 2500-4000 l ha⁻¹

Producción Sorgo Dulce Mundo

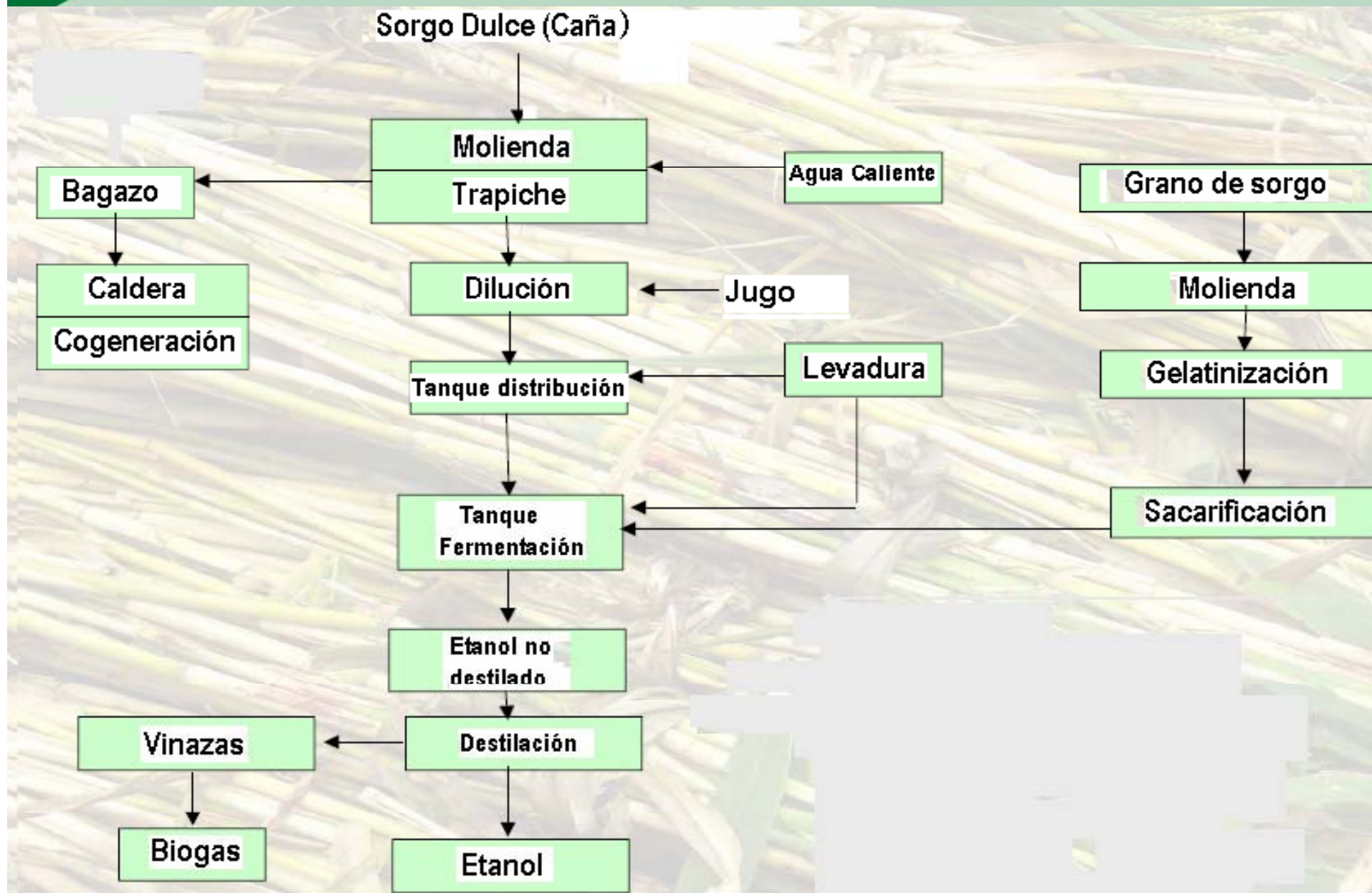
País	Rdto caña	Observaciones
Bulgaria	70	Lluvia+2 riegos
Grecia	83	Lluvia+3 riegos
Hungría	64	Lluvia+riego
India	57	Lluvia
Méjico	69	Lluvia
Mozambique	55	Lluvia
Sur África	42	Lluvia
Tailandia	46	Lluvia
Italia	72	Lluvia+riego
USA	76	Lluvia+riego

Fuente: PRAJ Industries



Producción tallos y contenido de azúcares en los entrenudos de variedades de sorgo dulce. ICRISAT, 2006

Variedad	Rendimiento Tallos (t ha ⁻¹)		Azúcar Porcentaje
	Semilla	1 ^{er} rebrote	Semilla
NTJ – 2	45.5	48.55	18.5
SPV – 422	55.60	57.65	19.0
ICSV – 700	43.48	45.50	18.0
ICSV – 93046	47.52	48.55	15.0
ICSR - 93034	46.52	47.53	18.0



Planta de producción de etanol con biomasa de sorgo dulce en India, fabricada por PRAJ.



Sorgos Dulces en China

Ethanol production from sweet sorghum



← A factory in Helongjiang



→ A pilot system in Shandong

Sorgo Dulce en Estados Unidos (LGFG)



• Sweet Sorghum is a real bio ethanol feedstock for LGFG project.

Generación de Materiales de Sorgo Dulce en Colombia



Objetivo

Entregar al sector agroindustrial del País híbridos de sorgo dulce como alternativa para la producción de alcohol carburante y cogeneración de energía

Áreas de Investigación en Sorgo Dulce

- **Mejoramiento Genético:**
 - **Selección de híbridos de sorgo dulce:**
 - Forraje: > 80 t ha⁻¹
 - Brix: > 15
 - ATR > 11
 - Fibra: > 13%
 - Días a cosecha: 90-110 días.



Producción de forraje y comportamiento agronómico de líneas avanzadas de sorgo dulce. Villavicencio, Meta.

Genotipo	Forraje t ha⁻¹	Tallo t ha⁻¹	Brix	Floración Días	Altura cm
HT 3	61.1	51.9	15.0	76	315
HT 5	58.1	48.2	15.9	77	314
HT 7	57.3	51.2	15.2	83	369
HT 46	75.0	58.6	16.1	82	316
HT 51	78.6	64.9	14.2	77	305
HT 70	63.4	53.5	16.3	76	299
HT 78	55.4	47.1	13.0	74	313
HT 97	62.1	49.3	15.2	63	240
HT 100	70.9	56.5	14.8	75	263

Comportamiento agronómico y producción de forraje líneas R de sorgo dulce. Espinal, 2009

Genotipo	Altura cm	Días a floración	Forraje tha ⁻¹	Tallo tha ⁻¹	Plantas miles ha ⁻¹	Brix
HT2	345	90	49.6	39.1	83.6	19.2
HT3	335	89	44.8	36.0	75.0	19.4
HT5	324	89	57.6	42.8	111.4	16.5
HT7	356	95	52.4	44.1	63.6	16.9
HT46	307	94	47.8	36.1	69.3	19.7
HT63	319	85	53.2	40.8	100.7	18.2
HT70	294	88	49.8	36.5	99.3	19.6
HT78	351	87	59.1	45.5	97.1	19.1
D.M.S. (5%)	27	4	12.6	10.0	22.5	1.7

Comportamiento agronómico y producción de forraje genotipos de sorgo dulce. Cerete, 2010

Genotipo	Altura cm	Días a floración	Forraje tha ⁻¹	Tallo tha ⁻¹	Plantas miles ha ⁻¹	Brix
HT5	328	68	63.8	53.2	125.0	12.8
HT63	356	58	82.8	69.0	126.8	10.6
HT70	345	67	105.6	88.0	121.4	11.1
HT89	359	71	80.6	67.2	107.1	11.7
C10	324	74	41.0	34.2	121.4	13.3
C11	342	64	77.5	64.6	130.4	10.5
IC1	325	71	78.0	65.0	114.3	12.6
IC2	345	66	115.6	96.3	119.6	12.2
D.M.S. (5%)	47	7	15.9	11.6	29.1	2.4

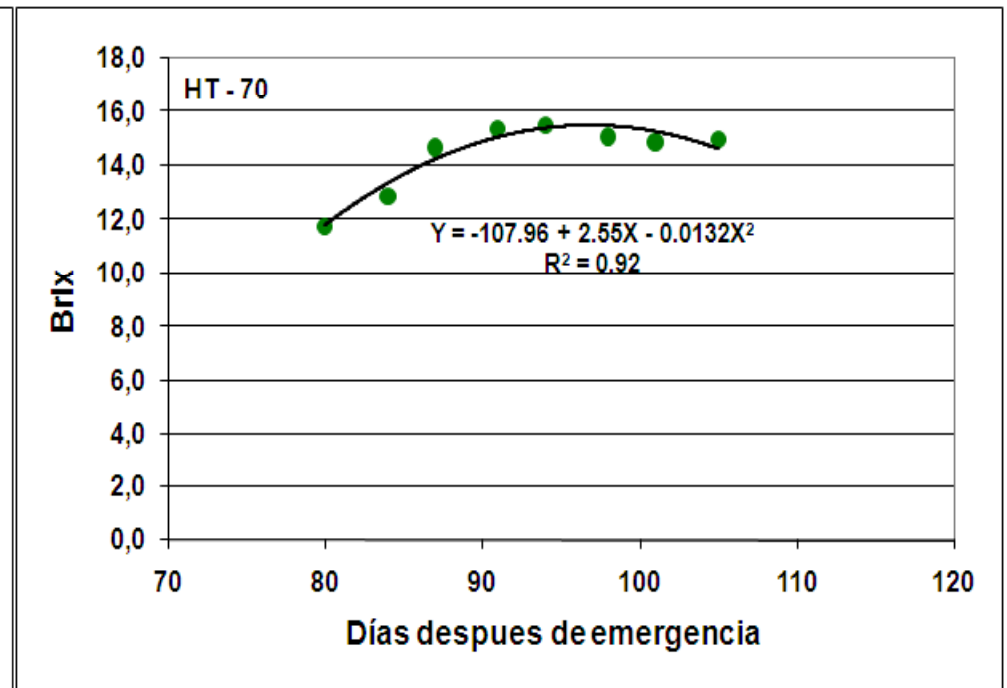
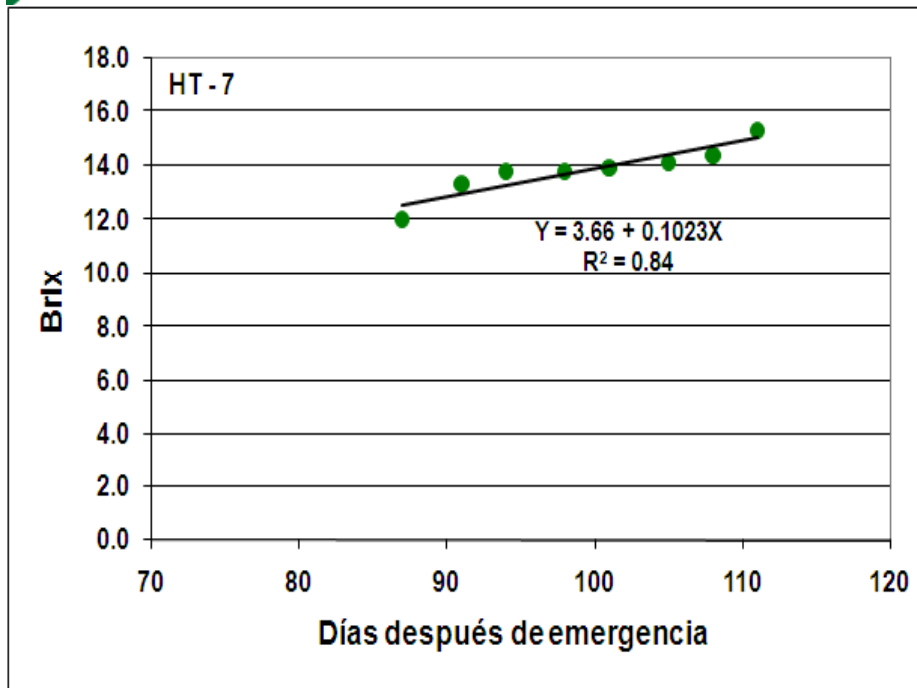
Producción de forraje y brix de líneas avanzadas de sorgo dulce. Codazi, Cesar.

Genotipo	Forraje t ha ⁻¹	Tallo t ha ⁻¹	Brix
HT 3	71.4	44.6	13.6
HT 5	75.9	49.1	13.5
HT 7	77.7	50.9	15.4
HT 46	128.6	87.5	14.1
HT 70	85.7	50.9	16.4
CIRAD	92.0	59.8	15.9

Comportamiento productivo y agronómico de híbridos elites de sorgo dulce, 2010.

Numero	Hibrido	Peso tallo (g)	Brix (%)	Extracción Jugo (%)	Días a Floración
1	15	1065	15.0	49.4	66
2	18	510	18.2	48.7	81
3	70	628	13.8	32.7	65
4	75	663	15.8	32.6	66
5	77	641	15.2	30.6	71
6	80	616	13.1	51.8	74
7	91	1035	12.8	35.1	67
8	122	928	13.3	31.9	65
9	129	705	14.6	29.7	72
10	140	563	15.1	35.4	75
	Testigo	386	15.6	26.1	67

Variación en Brix en el jugo extraído de tallos de las líneas de sorgo dulce HT-7 y HT70.



Contenido de azúcares fermentables y producción potencial de etanol de genotipos de sorgo dulce

Genotipo	Brix	Sacarosa	Glucosa	Fructo	Solidos no ferm	ART	L etanol kg ⁻¹	L etanol t ⁻¹
HT 5	16.2	10.00	1.21	1.08	3.91	12.81	0.0833	83.3
HT 6	15.0	8.63	1.13	0.98	4.26	11.19	0.0728	72.8
HT 27	16.1	7.60	1.11	1.06	6.32	10.18	0.0662	66.2
HT 40	12.5	8.27	1.18	0.96	2.10	10.84	0.0705	70.5
HT 41	18.0	9.30	1.10	0.87	6.73	11.76	0.0765	76.5
HT 45	13.0	6.67	1.31	1.29	3.74	9.61	0.0625	62.5
HT 70	12.0	9.17	1.51	1.21	0.11	12.37	0.0805	80.5
HT 72	16.2	6.95	1.36	1.06	6.84	9.73	0.0633	63.3
HT 89	14.6	6.47	2.02	1.42	4.69	10.25	0.0667	66.7
HT 97	12.0	7.13	1.98	1.53	1.35	11.03	0.0717	71.7

Análisis de azúcares realizados por HPLC, Lab. CENICAÑA

Producción forraje, etanol y fibra de líneas avanzadas de sorgo dulce, Palmira.

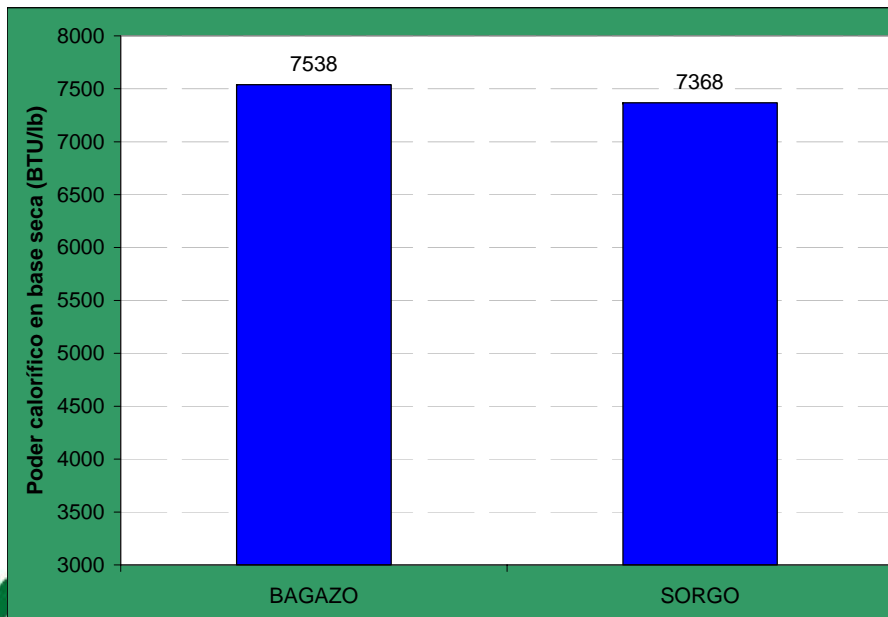
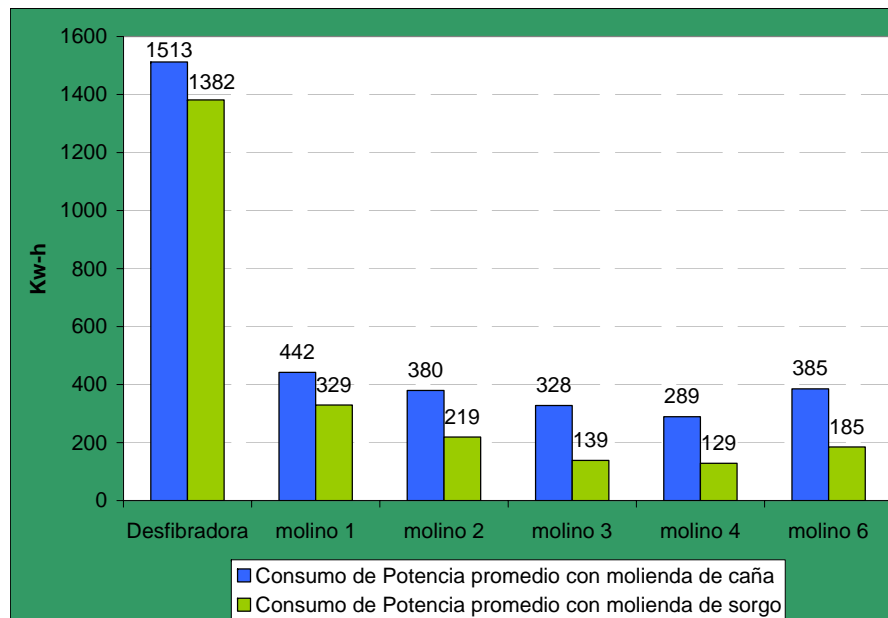
Genotipo	Forraje t ha ⁻¹	Tallo t ha ⁻¹	Brix	Porcentaje Sacarosa ^{/1}	L OH ^{/2} t ⁻¹	Porcentaje Fibra
HT 3	50.4	37.9	14.4	11.6	94.6	20.2
HT 5	73.3	51.5	14.2	11.1	100.3	18.0
HT 7	52.1	39.8	15.7	13.0	100.8	18.8
HT 46	65.1	44.7	13.3	10.2	89.0	22.7
HT 70	65.8	48.4	14.9	12.0	86.0	15.7
CIRAD	38.5	20.6	14.4	11.3	96.0	15.1

/1 Análisis realizados vía húmeda en laboratorio de Cenicaña

/2 Calculo estequiometrico de alcohol carburante con 80% Eficiencia En Fabrica

Poder calórico del bagazo 6786 BTU lb⁻¹ (Cruz, F.M. 2007)

Resultados energéticos



- Registros de potencia con molienda de sorgo por debajo de los valores típicos con caña

- No existe una diferencia significativa entre el poder calorífico de ambas materias primas.

**Germinación
3-5 DDS**



Estados del Cultivo

**Etapa Vegetativa
5 -40 DDS**



**Floración
60 -70 DDS**

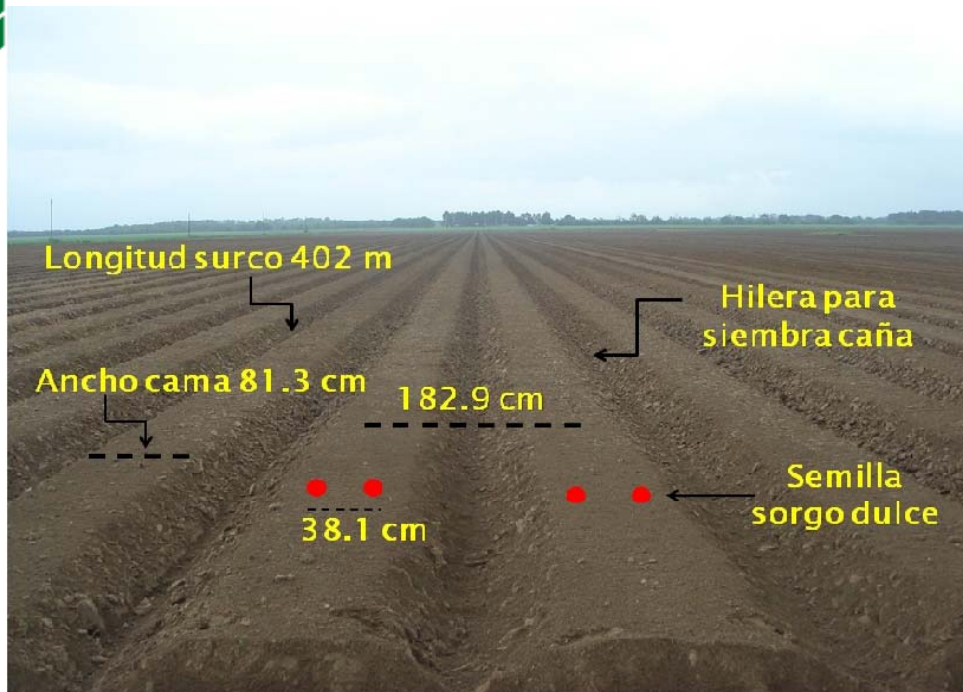


**Cosecha
90-110 DDS**



DDS : Días después de siembra

Siembra



Acamado y doble surco



Siembra en surcos



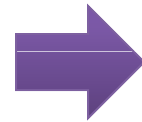
Control Malezas



- Atrazina (Preemergencia)
- Bentazon (Posemergencia)
- 2,4 D amina (Posemergencia)

No hay herbicidas específicos al cultivo

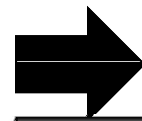
Fertilización (N-P-K)



80 kg N/ha
30 kg P₂O₅/ha
60 kg K₂O/ha } **Por ciclo**

Bajos requerimientos de fertilización

MIP



Cogollero y Barrenador del tallo

*Insecticidas bajo impacto +
Controladores Biologicos*

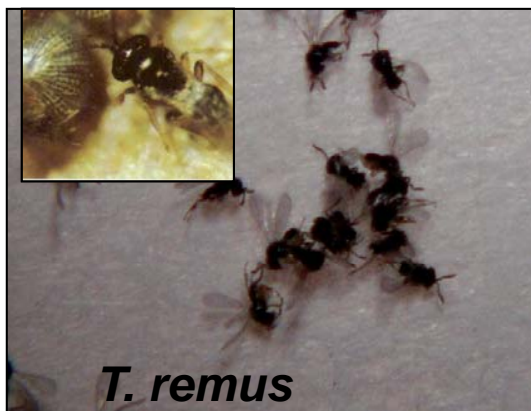
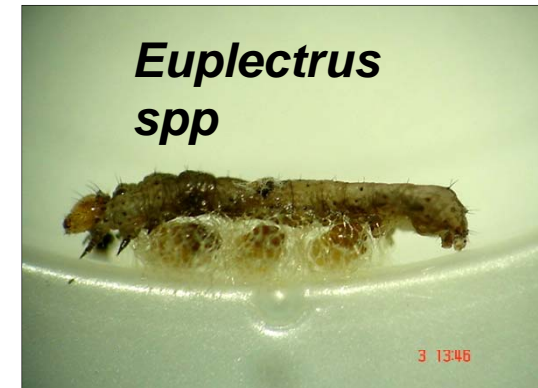
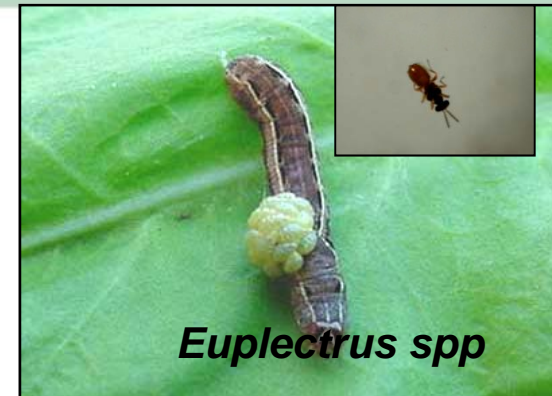
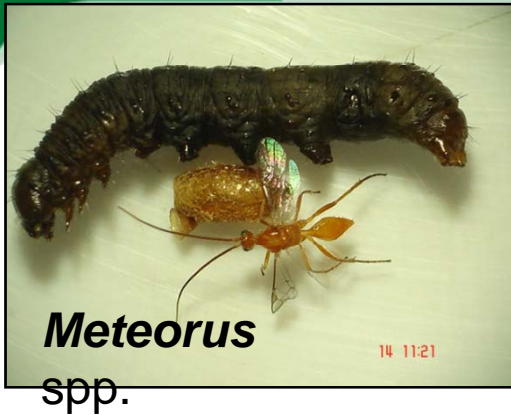




Daño de *S.frugiperda*



ENEMIGOS NATURALES DE *S.frugiperda*

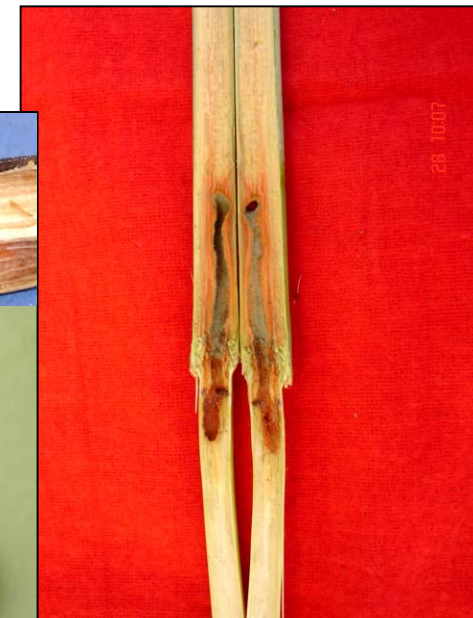
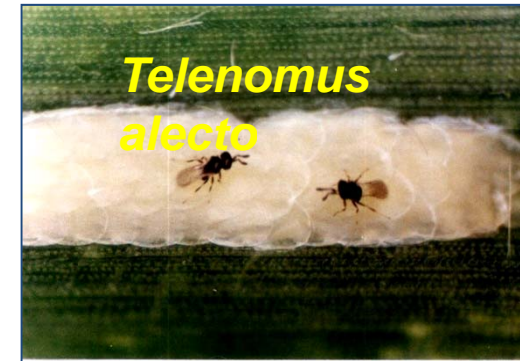
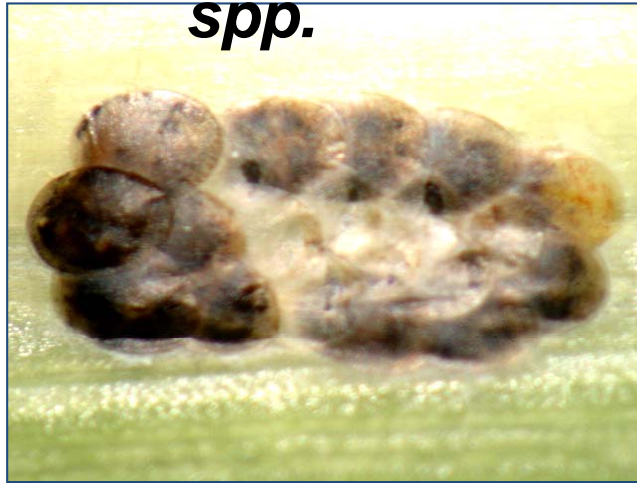


Daño de *Diatraea*
spp.



ENEMIGOS NATURALES DE *Diatraea*

spp.



28 1007

Cosecha

Manual

Mecanizada



Cosecha, Alce y Transporte



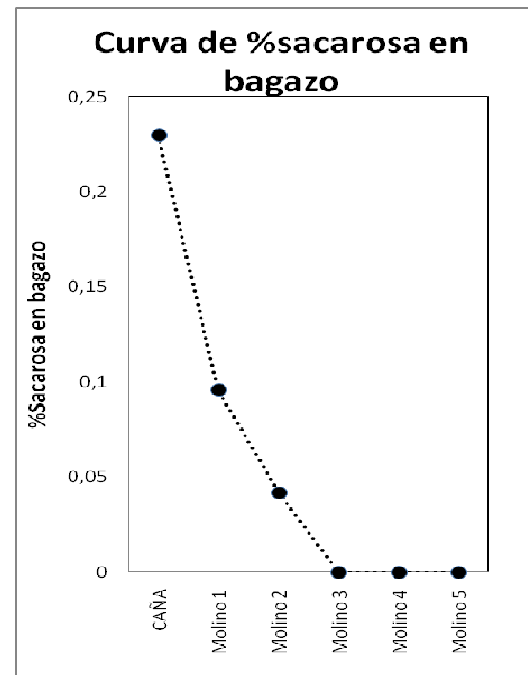
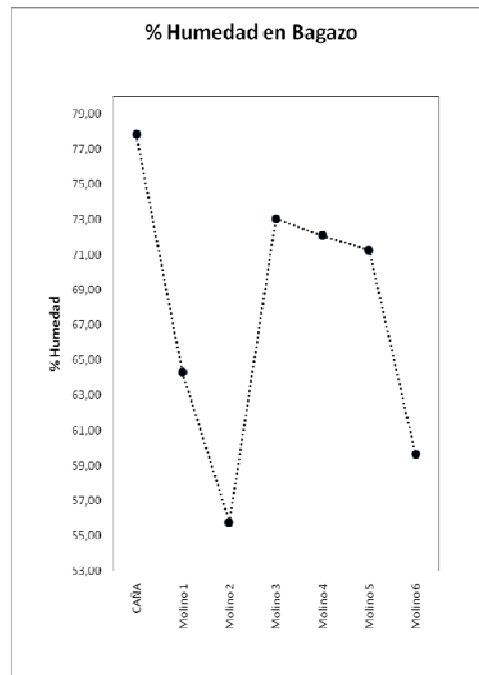
Pruebas de molienda de sorgo dulce

Procesamiento Planta



Descarga en mesa y molienda de sorgo





% Humedad en Bagazo						
Sorgo	Molino 1	Molino 2	Molino 3	Molino 4	Molino 5	Molino 6
77,82%	64,28%	55,77%	73,04%	72,09%	71,26%	59,62%

Sacarosa en bagazo	
Molino 1	0,23
Molino 2	0,096
Molino 3	0,042
Molino 4	0
Molino 5	0
Molino 6	0



Condiciones de la Prueba de Molienda de Sorgo

- Aproximadamente se molieron 20 ton de sorgo.
- La prueba inició hacia las 9:40 am (11 marzo de 2010)
- Finalizó cerca de las 9:57 am (Duración total de 17 minutos)

PRECOSECHA		PRECOSECHA	
FECHA :	04/03/2010	FECHA :	11/03/2010
BRUX CORREGIDO	15,44	BRUX CORREGIDO	13,04
POL	42,18	POL	20,82
SACAROSA (POLARIMETRIA)	10,34	SACAROSA (POLARIMETRIA)	5,16
SACAROSA (HPLC)	10,47	AZUCARES REDUCTORES (TITULACION)	2,925
AZUCARES REDUCTORES (TITULACION)	1,460		
FRUCTOSA (HPLC)	1,340		
GLUCOSA (HPLC)	1,090		

■ Información suministrada por el Ingenio Risaralda

Grupo Investigación



ALIANZAS ESTRATEGICAS



Libertad y Orden

Departamento Administrativo de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Colciencias

República de Colombia



División Agroindustrial
Biocombustibles



Universidad Nacional
de Colombia



cenicaña