

EVALUACION DE METODOS EN PEQUEÑA ESCALA PARA EL MANEJO POSCOSECHA DE SEMILLAS DE MAIZ DULCE

Héctor Medina¹ - Diosdado Baena²
- Roberto Aguirre²

COMPENDIO

Se evaluaron diferentes métodos para secamiento, desgrane, limpieza y selección. Para el secamiento en mazorcas, se probaron cuatro tratamientos: natural, a la sombra; al sol; aire forzado, a temperatura ambiente (30°C) y caliente (35°C). Para el desgrane se utilizaron cuatro tratamientos: completamente manual, parcialmente mecanizado con dos equipos manual mecánicos (modelos Suizo y Palmira) y completamente mecánico con equipo a motor (marca Penagos, modelo DM2). Para la limpieza y selección se probaron tres tratamientos: zaranda manual, limpiadora neumática y máquina de aire zaranda. Se proponen dos escalas de operación: la primera compuesta por secadora portátil, desgranadora Penagos y máquina de aire zaranda, que permite secar 590 kg de semilla en 29 horas, desgranar en menos de 7 horas y hacer la limpieza y selección en menos de 1 hora; requiere de una inversión inicial de 2.8 millones de Col\$ y tiene un costo de operación de 53,930 Col\$/t. La segunda escala, conformada por bandejas de malla (10 u), desgranador Suizo (2 u), zaranda manual (4 u) y limpiadora neumática, permite secar 160 kg de semilla en 79 horas, desgranar en 4.4 horas y limpiar y seleccionar en menos de 1 hora; requiere de una inversión inicial de 0.82 millones de Col\$ y tiene un costo de operación de 141,585 Col\$/t.

Palabras clave: *Zea mays* cv *saccharata*, maíz dulce, poscosecha, semilla, secamiento, desgrane, limpieza

ABSTRACT

EVALUATION OF SWEET MAYZE SEED SMALL SCALE POSTHARVEST PROCESSING METHODS

Several methods for drying, shelling, cleaning and sorting were evaluated. For ears drying, four treatments were tested: in the shade, in sunlight, with natural forced airflow, and with hot-air forced flow. For shelling four treatments were evaluated: Two hand-operated shellers (a Swiss model and a Colombian one) and a motor-driven sheller were used; manual shelling was included as check. Three treatments were used for seed cleaning and selection: manual screening, a pneumatic cleaner and an air-screen cleaner. Two scales of operation are proposed: The first includes a portable forced air drier, a motorized «Penagos» sheller and an air-screen cleaner, which allows to dry 590 kg of seed in 29 hours, shell in less than 7 hours and clean and sort in less than 1 hour; requires an initial investment of 2'800,000 Col \$ and has a cost of 53,930 Col \$/t of seed. The second scale of operation consists of ten mesh trays, two «Swiss» shellers, four manual screens, and a pneumatic cleaner, can dry 160 kg of seed in 79 hours, shell in 4.4 hours and clean and sort in less than 1 hour; has an initial cost of 820,000 Col \$ and a cost of 141,585 Col \$/t of seed.

Key words: *Zea mays* cv *saccharata*, sweet mayze, postharvest processing, seeds, drying, cleaning

INTRODUCCION

El maíz dulce, *Zea mays* cv *saccharata* Surt, posee almidón vítreo y dulzón, es de apariencia translúcida y cómea cuando está fresco y arrugado cuando está seco. Un gen recesivo impide la conversión de parte del azúcar en almidón y en su lugar tiene amilopectina; contiene mayor proporción de proteínas y sustancias grasas que el maíz dentado y con relación a los maíces comunes logra acumular aproximadamente el doble de azúcar (ISCA, 1987).

Estados Unidos es el mayor productor mundial de maíz dulce para enlatados y consumo en fresco; los principales importadores de maíz dulce congelado son los países europeos, destacándose entre ellos el Reino Unido; otros importantes consumidores son Canadá, Grecia y Japón (Arboleda et al, 1986 y Faiguenhaum, 1990).

A partir de la década de los 80, se viene fomentando el desarrollo de pequeñas empresas de semillas (PES), integradas a la investigación y a las comunidades

¹ Estudiante de Posgrado en Sistemas de Semillas, Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira; ² Profesores Asociados. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira, A A 237;

agrícolas locales. No existe un solo esquema organizativo, pero algunas asociaciones y cooperativas han sido exitosas, en San Gil y Pescador en Colombia; Santa Gertrudis, en Guatemala; Olancho, en Honduras y Caisán, en Panamá (Habich, 1991; Gutiérrez et al, 1991; Ashby et al, 1991). A pesar del creciente interés, la información sobre metodologías y equipos para el manejo poscosecha en pequeña escala es muy escasa, (Garay et al, 1992).

Las empresas de este tipo requieren inversiones relativamente bajas. Las operaciones principales por las cuales pasan las semillas son recepción, prelimpieza, secado, limpieza, selección, clasificación, tratamiento y envasado; sin embargo no todas las operaciones son necesarias para beneficiar los diferentes tipos de semillas, ni seguirán una misma secuencia hasta la operación final; las circunstancias y las condiciones en las que se reciben las semillas determinan las operaciones especializadas que se necesitan (Dávila et al, 1986; Parra, 1983).

Por las consideraciones anteriores, la investigación tuvo como objetivo la evaluación de metodologías para el manejo poscosecha en pequeña escala de semillas de maíz dulce.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El estudio se realizó en el Centro Experimental de la Universidad Nacional Sede Palmira (CEUNP) y en la empresa «SERVISEMILLAS» localizados en los municipios de Candelaria y Palmira respectivamente, con un genotipo de maíz dulce de libre polinización y 120 días de período vegetativo. El lote de multiplicación se instaló en un área de 1,000 m² con una densidad de siembra de 25 kg/ha, a 1 m entre surcos y 0.25 m entre plantas; la cosecha se realizó manualmente a los 124 días después de la siembra, cuando las semillas presentaban un contenido de humedad promedio del 30%. Se cosecharon 341 kg de mazorcas.

Secamiento en mazorca

El ensayo se condujo en un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y diferente número de repeticiones: cuatro para los tratamientos de secado natural (20 kg de mazorcas por unidad experimental) y dos para los tratamientos con aire forzado (64 kg de mazorcas por unidad experimental).

Los tratamientos fueron: natural a la sombra, o al sol, con aire forzado (30 m³/min/t) a temperatura ambiente o caliente (35°C). Para el secamiento natural se utilizaron

CUADRO 1. Variables de respuesta evaluadas en el secamiento

VARIABLES	EXPRESION
VELOCIDAD DE SECAMIENTO:	$V = (H_i - H_f) / t$
Pérdida de humedad de las semillas por unidad de tiempo	V = velocidad de secamiento (%H/hr) H _i = humedad inicial (%) H _f = humedad final (%) t = tiempo (horas)
COSTO DE SECAMIENTO:	
Incluye: Costo de utilización del equipo Valor de salvamento (10% costo equipo) Mantenimiento (5% del CUE) Mano de obra (7,000 Col \$/día) Electricidad (44 Col \$/KWh)	$CUE = (V_p - S_p) \{i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1]\}$ CUE = costo de utilización del equipo (\$/año) V _p = valor presente del equipo (\$) S _p = valor de salvamento (\$) i = tasa de interés anual (30% dec) n = años de vida útil (10 años)
Los costos / hora se estimaron considerando 700 horas de uso / año, en 2 temporadas de trabajo, 2 meses /	

zarandas con fondo de malla suspendidas a un metro sobre el suelo y para el secamiento con aire forzado se utilizó una secadora portátil modelo CIAT. En esta

operación se evaluaron la velocidad y el costo del secamiento (cuadro 1). El contenido de humedad se rebajó del 25% al 13%.

Desgrane

El ensayo se condujo en un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos (métodos de desgrane) y tres repeticiones; la unidad experimental estuvo constituida por un lote de 20 Kg de mazorcas. Se utilizaron dos equipos manuales (desgranadora modelo «Suizo» y desgranadora modelo «Palmira») y un desgranador a motor marca «Penagos» modelo DM2, se incluyó como testigo el desgrane manual. Las variables de respuesta se describen en la Cuadro 2.

Limpieza y Selección

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos (equipos) y tres repeticiones. Los tratamientos fueron: zaranda manual, limpiadora neumática modelo CIAT y máquina de aire zaranda modelo INGEVIAR. Las zarandas con orificios circulares de 11 y 7 mm de diámetro se usaron como desbrozadora y clasificadora respectivamente. En la limpiadora neumática, cada lote se sometió a dos pases con el fin de eliminar el material más liviano (primer pase)

CUADRO 2. Variables de respuesta evaluadas en el desgrane

VARIABLES	EXPRESION
RENDIMIENTO DEL PROCESO (%) Semilla obtenida en el desgrane	$R = \frac{\text{semilla desgranada (kg)}}{\text{mazorcas desgranadas (kg)}} \times 100$
CAPACIDAD DEL EQUIPO (kg/hr) Mazorcas desgranadas sobre tiempo	$C = \frac{\text{mazorcas desgranadas (kg)}}{\text{tiempo de operación (hr)}}$
PERDIDAS POR NO DESGRANE (%) Pérdida de semilla que no se separa de la tusa	$PND = \frac{\text{semillas no desgranadas (kg)}}{\text{total de semillas (kg)}} \times 100$
EFICIENCIA DE DESGRANE (%) Semillas desgranadas sobre total semillas	$ED = \frac{\text{semillas desgranadas (kg)}}{\text{total de semillas (kg)}} \times 100$
EFICACIA DE DESGRANE (%) Contaminantes removidos sobre total de contaminantes removibles	$Ef = \frac{\text{materia inerte removida (kg)}}{\text{total de materia inerte (kg)}} \times 100$
GRANO PARTIDO (%) Semillas fracturadas en el desgrane sobre total semillas desgranadas	$GP = \frac{\text{semillas partidas (kg)}}{\text{total de semillas (kg)}} \times 100$
GRANO CON FISURAS (%) Semillas fisuradas (daño no observable a simple vista) sobre total semillas	$GF = \frac{\text{número de semillas con fisuras}}{\text{número total de semillas}} \times 100$
PUREZA FISICA (%) Semilla pura sobre total de material desgranado	$Pf = \frac{\text{semilla pura en la muestra (kg)}}{\text{total de la muestra (kg)}} \times 100$
COSTOS DE DESGRANE	CUE

y para separar granos vanos y ciertas impurezas (segundo pase). La unidad experimental estuvo conformada por un lote de semillas de 60 kg.

El descarte (impurezas eliminadas por el aire, por la zaranda desbrozadora y el material que pasa a través de la segunda zaranda) se identificó como fracción 1 y el material limpio como fracción 2. La selección del material limpio se realizó manualmente; removiendo semillas de mala apariencia (manchadas, vanas) y materia inerte. El material eliminado se identificó como fracción 3 y a la semilla selecta como fracción 4; la suma de ambas constituye la fracción 2 (material limpio). Las variables de respuesta se registran en el Cuadro 3.

RESULTADOS Y DISCUSION

Secamiento en mazorca

Las tasas de secamiento (%H / hr) fueron: 0.39 (aire caliente), 0.23 (aire ambiente), 0.17 (natural al sol) y 0.08 (natural a la sombra) y se diferenciaron con significancia estadística (Cuadro 4).

Las condiciones de temperatura y humedad relativa en el plenum de la secadora portátil, oscilaron en menor grado cuando el secamiento se hizo con aire caliente, diferencias que afectan el tiempo de secamiento independiente del flujo de aire aplicado. Lo anterior es explicable dado que el aumento en la temperatura del

CUADRO 3. Variables de respuesta evaluadas en la limpieza y selección

VARIABLES	EXPRESION
RENDIMIENTO (%) Semilla limpia obtenida	$R = \frac{\text{semilla limpia (kg)}}{\text{material a limpiar (kg)}} \times 100$
CAPACIDAD (kg/hr) Cantidad de material limpiado por unidad de tiempo	$C = \frac{\text{material a limpiar (kg)}}{\text{tiempo de operación (hr)}} \times 100$
EFICIENCIA (%) Semilla pura recuperada	$E = \frac{\text{semilla pura a la salida (kg)}}{\text{semilla pura a la entrada (kg)}} \times 100$
EFICIENCIA (%) Contaminantes removidos	$E_f = \frac{\text{contaminantes en descarte (kg)}}{\text{contaminantes a la entrada (kg)}} \times 100$
PUREZA FISICA (%) Semilla pura sobre el peso del material	$P_f = \frac{\text{semilla pura (kg)}}{\text{total del material (kg)}} \times 100$
SEMILLA SELECTA (%) Semilla selecta sobre el total de la semilla pura	$SS = \frac{\text{semilla selecta (kg)}}{\text{total semilla pura (kg)}} \times 100$
GERMINACION (%) En arena y evaluación a los 10 días	$G = \frac{\text{semillas geminadas}}{\text{total semillas sembradas (Nº)}} \times 100$
VIGOR (%) Prueba de crecimiento y evaluación de plántulas vigorosas a los 10 días	$V = \frac{\text{plántulas vigorosas (Nº)}}{\text{plántulas normales (Nº)}} \times 100$
COSTOS DE LIMPIEZA Y SELECCION	CUE

CUADRO 4. Características de los métodos de secamiento

CARACTERISTICAS	TRATAMIENTOS			
	Al sol	A la sombra	Aire ambiente	Aire caliente
Area del secador (m ²)	0.85	0.85	0.16	0.16
Espesor de capa (m)	0.06	0.06	1.00	1.00
Volumen de semilla (m ³)	0.05	0.05	0.16	0.16
Caudal de aire (m ³ /min/t)	—	—	30	30
Velocidad del aire (m/min)	—	—	3.8	3.8
Temperatura promedio aire (°C)	26.2	26.4	30.8	35.1
HR promedio aire de secado (%)	71	70	54	43
Peso inicial mazorcas (kg)	20.0	20.0	64.0	64.0
Peso final mazorcas (kg)	16.4	16.7	52.3	55.0
Peso inicial semillas (kg)	15.8	15.8	50.6	50.6
Humedad inicial (%)	25.0	25.0	25.0	24.0
Humedad final (%)	11.8	13.3	12.4	12.8
Tiempo de secado (hr)	79	149	54	29
Vel. secado diurno (%H/hr)	0.26	0.10	0.33	0.41
Vel. secado nocturno (%H/hr)	0.07	0.06	0.13	0.38
Vel. sec. promedio (%H/hr) *	0.17 ^a	0.08 ^b	0.23 ^c	0.39 ^d

* Letras diferentes en cada fila indican diferencia significativa. Duncan ($P < 0.05$) C.V. = 26.7 %

aire, disminuye la humedad relativa e incrementa el gradiente de presión de vapor entre la semilla y el aire que la rodea, promoviendo mayor pérdida de humedad de las semillas.

Las diferencias en la velocidad de secamiento entre métodos se debe a las condiciones del aire que pasa a través de la masa de semillas y por consiguiente a la transferencia de humedad y calor al interior de estas, lo que a su vez influye sobre la evaporación y el transporte del vapor de agua fuera del ambiente de secado. Los métodos de secado en bandejas de fondo de malla costaron 139,091 Col \$/t a la sombra y 76,500 Col \$/t al sol. En la secadora portátil, se incrementan los costos en 9,203 Col \$/t con relación al secado con flujo de aire caliente (38,579 Col \$/t). Por tanto, el secado al sol y el secado con aire caliente son los más económicos dentro de los métodos de secamiento natural y artificial respectivamente (Cuadro 5).

El secamiento con flujo de aire forzado (secadora portátil) requiere mayor inversión inicial y tiene mayor costo de operación con respecto al secamiento al sol; no obstante los costos totales de secamiento por tonelada son 50.4% más económicos. La escogencia de una u otra estrategia depende de factores como volúmenes de cosecha, disponibilidad de recursos

económicos, costo de mano de obra, nivel cultural, condiciones ambientales.

Desgrane

El rendimiento promedio de semilla no presentó diferencias significativas entre métodos de desgrane; no así la capacidad de desgrane de cada equipo (Cuadro 6). La pureza física lograda supera en 2% los mínimos exigidos por certificación, sin haber pasado por el proceso de limpieza y selección. El valor de adquisición de cada equipo (Cuadro 7) fue de 25,000 Col \$ modelo Suizo; 70,000 Col \$ modelo Palmira y 300,000 Col \$ modelo Penagos; que equivalen a 3.6, 10.0 y 42.8 jornales respectivamente, considerando un jornal mínimo de 7,000 Col \$ (datos para Colombia, Marzo 1994).

El menor costo correspondió al proceso realizado con el equipo «Penagos» (12,307 Col \$/t) y el mayor costo al desgrane manual (79,114 Col \$/t), siendo este último mayor en 30,357, 47,273 y 66,807 Col \$/t con respecto a los equipos «Suizo», «Palmira» y «Penagos».

El desgranador modelo «Suizo» por su capacidad, fácil construcción y costo reducido, bien puede responder a las necesidades de pequeños agricultores semillistas que viven en zonas donde abunda la mano de obra. En regiones donde existe disponibilidad de

CUADRO 5. Costos de secamiento

VARIABLES DE COSTOS	BANDEJA DE MALLA		SECADOR PORTATIL	
	Col \$/hr	%	Col \$/hr	%
Costo de utilización del equipo (CUE)	6.24	40.8	415.88	52.8
Mantenimiento (5% del CUE)	0.31	2.0	20.79	2.6
Mano de obra (jornal) ¹	8.75	57.2	87.50	11.1
Costo electricidad (KW X \$/KWh)	0.00	0.00	264.00	33.5
TOTAL	15.30	100.0	788.17	100.0

¹ Se supone que una persona supervisa diariamente 100 bandejas y/o 10 secadores

METODO	Peso (kg)	Tiempo (hr)	Capacidad (kg/hr)	Costos	
				Col \$/hr	Col \$/t
Sol	15.8	79	0.20	15.30	76.500
Sombra	15.8	149	0.11	15.30	139.091
Aire ambiente ²	592.5	54	10.97	524.17	47.782
Aire caliente ²	592.5	29	20.43	788.17	38.579

² La capacidad total de la secadora portátil es de 592.5 kg de semilla

Información para calcular los costos de operación:

Equipos	Bandeja de Malla	Secadora Portátil
Utilización (horas / año)	700	700
Vida útil (años)	10	10
Valor del equipo (Col \$)	15.000	1'000.000
Valor de salvamento (Col \$)	1.500	100.000
Interés del capital (% / año)	30	30
Consumo de energía (KWh)	—	6.0
Costo electricidad (Col \$ / KWh)	—	44
Costo de mano de obra (Col \$/día) 03-1994	7.000	7.000

energía eléctrica, el uso de una desgranadora mecánica (modelo «Penagos») sería de utilidad por su mayor capacidad o por las implicaciones de la mano de obra en el costo final.

Limpieza

Después de secamiento y desgrane siguió la limpieza y selección, operaciones necesarias para obtener semilla de alta calidad (Cuadro 8).

La pureza física promedio a la salida se incrementó en todos los equipos y fue consistentemente alta como consecuencia de la alta pureza inicial. Los promedios de eficiencia (recuperación de semilla) y eficacia (remoción de contaminantes) presentaron diferencias estadísticamente significativas entre equipos de limpieza (Cuadro 8). La zaranda manual arrojó la más baja eficiencia (76.0%) pero la más alta eficacia (95.5%), resultado contrario se obtuvo con la limpiadora neumática (97.9% de eficiencia y 69.1% de eficacia).

Como al remover mayor cantidad de material indeseable puede aumentar la pérdida de semilla, el equipo ideal es el que reuna alta eficacia con alta eficiencia.

El mayor rendimiento correspondió a la limpiadora neumática (97.3%) seguido de la maquina de aire y zaranda (91.9%) y por último la zaranda manual (75.2%); resultados que presentaron diferencias estadísticamente significativas. La máquina de aire y zaranda presentó una capacidad de 832 kg/hr, la limpiadora neumática 333 kg/hr y la zaranda manual 93 kg/hr, con diferencias estadísticamente significativas.

Los tres equipos produjeron los mismos efectos sobre la mejora en el porcentaje de germinación de la semilla (coeficiente de variación 1.54%). De igual manera el material descartado presentó alta germinación; sin embargo, el vigor fue bajo debido al tamaño pequeño y al poco peso de la semilla. Se notó un incremento de vigor de la semilla limpia con respecto al material de

CUADRO 6. Resultados de desgrane con los cuatro tratamientos

VARIABLES	TRATAMIENTOS			
	Manual	Suizo	Palmira	Penagos
Humedad de la semilla (%)	13.4	12.6	12.7	12.2
Velocidad (revoluciones / min)	—	42	40	100
Velocidad tangencial (m/seg)	—	0.57	0.84	3.14
Cantidad de mazorcas (kg)	10	10	10	38
Tiempo de desgrane (hr)	0.71	0.46	0.28	0.09
Tiempo de desgrane (hr/m ³)	28.4	18.4	11.2	3.7
Rendimiento (%)	73.3 ^a	72.8 ^a	72.3 ^a	71.3 ^a
Capacidad (kg mazorca / hr)	14.1 ^a	22.9 ^a	36.2 ^b	107.9 ^c
Capacidad (kg semilla / hr)	10.3 ^a	16.6 ^a	26.2 ^b	76.9 ^c
Pérdidas por no desgrane (%)	0.0 ^a	1.1 ^b	1.5 ^b	0.28 ^a
Pérdidas por despunte (%)	7.4 ^a	6.9 ^a	7.3 ^a	7.7 ^a
Eficiencia de desgrane (%)	100.0 ^a	98.9 ^b	98.5 ^b	99.7 ^a
Eficacia del desgrane (%)	99.6 ^a	99.5 ^a	98.7 ^a	95.0 ^a
Semilla partida (%)	0.0 ^a	0.0 ^a	0.5 ^b	0.7 ^b
Semilla fisurada (%)	0.2 ^a	1.0 ^a	4.3 ^b	5.5 ^b
Pureza física (%)	99.9 ^a	99.9 ^a	99.6 ^a	98.3 ^b

Letras diferentes en los promedios de cada fila indican diferencias significativas. Duncan (P <, = 0.05)
Resultados de tres repeticiones por tratamiento

CUADRO 7. Costos de desgrane

VARIABLES	Desgrane manual		Desgrane manual Equipo Suizo		Desgrane manual Equipo Palmira		Desgrane mecánico Penagos	
	Col \$/hr	%	Col \$/hr	%	Col \$/hr	%	Col \$/hr	%
Costo Utilización Equipo	0.0	0.0	10.4	1.2	29.1	3.2	124.8	11.9
Mantenimiento Equipo	0.0	0.0	0.5	0.1	1.5	0.2	6.2	0.6
Mano de Obra	875.0	100.0	875.0	98.7	875.0	96.6	875.0	83.3
Energía Eléctrica	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	4.2
Costo total (Col \$/hr)	875.0	100.0	885.9	100.0	905.6	100.0	1050.2	100.0
Costo Total (Col \$/t)	79.114		48.757		31.841		12.307	

Información para calcular los costos de operación:

Modelo	Manual	Suizo	Palmira	Penagos
Horas de uso / año	—	700	700	700
Vida útil (años)	—	10	10	10
Valor del equipo (Col \$)	—	25.000	70.000	300.000
Valor de salvamento (10%)	—	2.500	7.000	30.000
Interés del capital (%/año)	30	30	30	30
Consumo de electricidad (KW/hr)	0.0	0.0	0.0	1.0
Costo de electricidad (Col \$/KWh)	0.0	0.0	0.0	44.0
Costo de mano de obra (Col \$/día)	7.000	7.000	7.000	7.000
Capacidad (kg mazorcas/hr)	14	23	36	108
Capacidad (kg semillas/hr)	11.1	18.2	28.4	85.3

CUADRO 8. Variables de respuesta de limpieza de los tres tratamientos

Variables	Zaranda manual			Limpiadora neumática			Máquina de aire zaranda		
	Entrada	Salida	Descarte	Entrada	Salida	Descarte	Entrada	Salida	Descarte
Materia Prima (kg)	60.0	45.1	14.9	60.0	58.4	1.63	60.0	55.1	4.86
Semilla Limpia (kg)	59.3	45.1	14.2	59.4	58.2	1.25	59.3	55.1	4.26
Mat. Indeseable (kg)	0.73	0.03	0.70	0.55	0.17	0.38	0.68	0.08	0.60
Materia Prima (%)	100	75.2	24.8	100	97.3	2.7	100	91.9	8.1
Semilla Limpia (%)	100	76.0	24.0	100	97.9	2.1	100	92.8	7.2
Mat. Indeseable (%)	100	4.1	95.9	100	30.9	69.1	100	11.8	88.2
Pureza Física (%)	98.8	99.9 ^a	95.3	99.1	99.7 ^b	76.7	98.9	99.8 ^c	87.6
Eficiencia (%)		76.0 ^a			97.9 ^b			92.8 ^c	
Eficacia (%)		95.9 ^a			69.1 ^b			88.2 ^c	
Rendimiento (%)		75.2 ^a			97.3 ^b			91.9 ^c	
Capacidad (kg/hr) ¹		93 ^a			333 ^b			832 ^c	
Germinación (%)	91	96 ^a	95	91	93 ^a	75	91	95 ^a	92
Vigor (%)	66	72 ^a	24	66	73 ^a	11	66	76 ^a	46

¹ Estimado con base en el análisis de pureza inicial

* Letras diferentes en los promedios de cada fila indican diferencia significativa. Duncan (P < 0.05).

C.V.(%): Pureza Física 0.03; Eficiencia 0.45; Eficacia 3.15; Rendimiento 0.43; Capacidad 10.59; Germinación 1.54; Vigor 5.47

entrada, el cual aumentó 6, 7, y 10 puntos para el ZM, la LN, y la MAZ respectivamente.

Selección manual

La selección manual hecha a la semilla limpia presentó los siguientes resultados consignados en el Cuadro 9.

La pureza física incrementó en 0.1, 0.3 y 0.2% con respecto al material proveniente de la zaranda manual, limpiadora neumática y máquina de aire y zaranda, llegando en todos los casos a 100%; la semilla selecta incrementó en 2.3%, 6.9 y 5.5% para las fracciones provenientes de la ZM, LN y MAZ respectivamente. Por la cuidadosa selección manual, la eficiencia y eficacia para todos los tratamientos fue del 100%; el rendimiento fue de 97.8, 93.1 y 94.5% para las fracciones provenientes de la ZM, LN y MAZ respectivamente y la capacidad promedio fue de 18 kg de semilla/hr, para todos los casos. La germinación y el vigor se incrementaron pero sin significancia en los tres tratamientos. Se notó gran incremento en el vigor (plántulas vigorosas), de 14 con la ZM, de 14 con la LN y de 11 puntos con la MAZ. La semilla descartada presentó alta germinación, pero bajo vigor.

En todos los casos, el mayor porcentaje del costo de operación está representado por la mano de obra (Cuadro 10). El valor de adquisición de la zaranda manual, de la limpiadora neumática y de la máquina

aire zaranda equivalen a 8.6, 71.4 y 214.3 jornales respectivamente. Considerando la capacidad de la zaranda manual y la de la limpiadora neumática, los 71.4 jornales de trabajo se pagarían con los ahorros de mano de obra resultantes de limpiar 73.7 toneladas de semilla; es decir, el equipo se pagaría con los primeros 27.7 jornales de trabajo (222.4 hr). La máquina de aire y zaranda se pagaría con el ahorro de mano de obra (8 horas por cada 832 kg) resultante de limpiar 178.3 toneladas en 26.8 días (214.4 hr). La relación limpiadora neumática y máquina de aire y zaranda, es evidente ya que los 214.3 jornales de trabajo a las que equivale el valor de adquisición de la MAZ se pagarían con el ahorro de 1.5 horas por cada 0.832 t; es decir, se tendría que limpiar 950.9 toneladas, en 142.9 jornales.

Al confrontar los costos totales por tonelada, se observa que la máquina de aire y zaranda genera ahorros de 6,641 Col \$ y 3,126 Col \$ con relación a ZM y LN; sin embargo, requiere mayor inversión inicial, que en un futuro se pagaría con los ahorros que produciría dicho equipo.

En los costos no están incluidos las pérdidas de semilla por no disponer de precios del maíz dulce en el mercado. Las pérdidas de semilla es uno de los factores que se debe de tener en cuenta en la selección de los equipos y métodos de selección.

Teniendo en cuenta estos resultados, en la adopción del método se debe considerar factores de orden

CUADRO 9. Variables de respuesta de la selección manual

Variables	MATERIAL PROVENIENTE DE:								
	Zaranda manual			Limpiadora neumática			Máquina de aire zaranda		
	Entrada	Salida	Descarte	Entrada	Salida	Descarte	Entrada	Salida	Descarte
Semilla limpia (kg)	45.1	44.1	1.0	59.4	54.4	4.0	55.1	55.1	3.0
Semilla selecta (kg)	44.1	44.1	0.0	54.4	54.4	0.0	52.1	52.1	0.0
S. mala apariencia (kg)	0.99	0.00	0.99	3.8	0.0	3.8	2.9	0.00	2.9
Materia inerte (kg)	0.03	0.00	0.03	0.17	0.00	0.17	0.08	0.00	0.08
Semilla limpia (%)	100	97.8.2	2.2	100	93.1	6.9	100	94.5	5.5
Semilla selecta (%)	100	100	0.0	100	100	0.0	100	100	0.0
S mala apariencia (%)	100	0.0	100	100	0.0	100	100	0.0	100
Materia inerte (%)	100	0.0	100	100	0.0	100	100	0.0	100
Pureza física (%)	99.9	100	97.1	99.7	100	95.8	99.8	100	97.4
Semilla selecta (%)	97.7	100	0.0	93.1	100	0.0	94.5	100	0.0
Eficacia (%)		100			100			100	
Eficiencia (%)		100			100			100	
Rendimiento (%)		97.8			93.1			94.5	
Capacidad (kg/hr)		18.0			18.0			18.0	
Germinación (%)	96	96 ^a	97	93	97 ^a	83	95	97 ^a	94
Vigor (%)	72	86 ^a	30	73	87 ^a	18	76	87 ^a	24

* Letras diferentes en los promedios de cada fila indican diferencia significativa. Duncan (P < 0.05).

C.V.(%): Germinación 2.92; Vigor 2.60

CUADRO 10. Costos de limpieza y selección

Variables	Zaranda Manual		Limpiadora Neumática		Maq. Aire Zaranda		Selección Manual	
	Col\$/hr	%	Col\$/hr	%	Col\$/hr	%	Col\$/hr	%
Utilización del equipo	24.95	2.8	207.96	10.1	623.89	24.6	—	—
Mantenimiento	1.25	0.1	10.40	2.0	31.19	1.2	—	—
Mano de obra (jornal)	875	97.7	1.750	85.1	1.750	69.0	875	100.0
Energía eléctrica	0.0	0.0	88.0	4.3	132.0	5.2	0.0	0.0
Costo Total (Col \$/hr)	901	100.0	2.056	100.0	2.537	100.0	875	100.0
Costo Total (Col \$/t)	9.690		6.175		3.049		46.667	

Información para calcular los costos de operación:

Equipos	Zaranda manual	Limp neumática	Aire-zaranda	Selecc. manual
Horas de uso / año	700	700	700	—
Vida útil (años)	10	10	10	—
Valor del equipo (Col \$)	60.000	500.000	1'500.000	—
Valor de salvamento (10%)	6.000	50.000	150.000	—
Interés del capital (%/año)	30	30	30	30
Consumo de electricidad (KW/hr)	0.0	23.0	0.0	0.0
Costo electricidad (Col \$/KWh)	44	44	44	44
Costo mano de obra (Col \$/día)	7.000	7.000	7.000	7.000

Para calcular el costo por tonelada, se dividen los costos totales (\$/hr) por la capacidad de la máquina (t/hr)

Capacidad (kg semillas/hr)	93	333	832	18
----------------------------	----	-----	-----	----

agroclimático, sistemas productivos, niveles tecnológicos, culturales y la disponibilidad de recursos económicos. En consecuencia, en zonas donde no hay disponibilidad de energía eléctrica, combustible, escasos recursos económicos y se manejan pequeños volúmenes de semilla, el uso de las zarandas manuales puede ser una buena alternativa; el inconveniente podría radicar en disponer de zarandas con amplio surtido de tamaños de las perforaciones, dado el variable tamaño de la semilla. La limpiadora neumática y la máquina de aire zaranda empleados en el estudio, son equipos accionados con motor eléctrico, requiere de una mayor inversión inicial, pero permiten manejar mayores volúmenes de semilla, adecuándose a un sistema de pequeñas empresas con tecnologías más avanzadas.

CONTEXTUALIZACION Y SINTESIS

Los resultados se analizarán a la luz de dos escenarios, cada uno con una necesidad propia (Cuadro 11): En el primero, existe corriente eléctrica y/o se dispone de combustible, hay condiciones para la inversión inicial en la adquisición de equipos sencillos con controles de operación, con rendimientos adecuados, de capacidad apropiada y con características similares de tal forma que el flujo de operaciones no se obstaculice. Para este caso se propone el flujo 1, que

consta de un secador portátil, una desgranadora a motor («Penagos») y una máquina de aire zaranda; permite secar 590 kg de semilla en 29 horas, desgranar en 6.9 horas y realizar la limpieza-selección en menos de 1 hr. Este flujo requiere una inversión inicial de 2'800,000 Col \$, el costo de operación asciende a 4,335 Col \$/hr, e implica un costo de 53.930 Col \$/t. Con este esquema se puede manejar mayores volúmenes de semilla aumentando la capacidad de secamiento.

En el segundo escenario, donde no existe energía eléctrica y/o combustible, baja condición para la inversión inicial, no existe la necesidad de altos rendimiento por unidad de tiempo, abunda la mano de obra y las condiciones climáticas son favorables para el secamiento. Para este caso se propone el flujo 2, que consta de bandejas de malla (10), desgranadora modelo «Suizo» (2), limpiadora neumática y zaranda manual (4), permitiría secar 160 kg de semilla en 79 hr como promedio, desgranar, limpiar y seleccionar en 4.4, 0.8 y 0.5 hr respectivamente. El proceso involucra una inversión inicial de 820,000 Col \$, el costo de operación asciende a 5,783 Col \$ /hr y el costo total es de 141,585 Col \$/t. Como el costo es más alto que en el flujo 1, el esquema debe ser temporal y debe mejorarse incorporando gradualmente los métodos de mayor capacidad.

CUADRO 11. Costos totales en el manejo poscosecha de semilla de maíz

EQUIPOS		Capacidad kg / hr	Valor Col \$	Costo Col \$/hr	Costo Col \$/t
F L U J O 1	Secamiento: Secadora portátil	20 ¹	1'000.000	788	38.579
	Desgrane: Modelo PENAGOS	85	300.000	1.050	12.307
	Limpieza y Selección: Máquina aire-zaranda	832	1'500.000	2.537	3.044
	TOTAL		2'800.000	4.335	53.930
F L U J O 2	Secamiento: Bandeja de malla ³	2 ²	150.000	153	76.500
	Desgrane: Modelo SUIZO ⁴	36	50.000	1.772	49.222
	Limpieza y Selección: Zaranda manual ⁵	186	120.000	1.802	9.688
	Limpiadora neumática	333	500.000	2.056	6.175
TOTAL		820.000	5.783	141.585	

¹ Tanda de 590 kg de semilla cada 29 horas (secadora portátil)

² Tanda de 16 kg de semilla / bandeja de malla cada 79 horas

³ 10 bandejas

⁴ 2 desgranadoras

⁵ 4 zarandas (2 juegos)

Para el análisis se consideró sólo dos épocas de cosecha al año (2 meses de uso por cosecha), sin embargo el empleo de los equipos puede ser dirigido a procesar granos o semillas de otras especies, así mismo

se puede aprovechar la mayor capacidad de algunos equipos (p.e. máquina de aire zaranda), aumentando la capacidad de la secadora con el fin de manejar un mayor volumen en el flujo continuo.

BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA, F.; VENEGAS, H. y MORENO, J. El programa de investigación en maíz: Objetivos, resultados y proyecciones. Reunión del Programa Nacional de Maíz ICA-Colombia, 12, 1986. 34 p.

ASHBY, J. et al. Investigación participativa en la producción de semilla mejorada por pequeños agricultores. El caso de ASHORTOP, Pescador, Cauca, Colombia. PROFRIJOL-CIAT-DIGESA, 1991. 20 p.

DAVILA, S.; PESKE, S. y AGUIRRE, R. Beneficio de Semillas. CIAT, 1986. 167 p.

FAIGUENHAUM, H. Técnicas de producción de maíz: Producción de maíz dulce. Universidad Católica de Chile, 1990. p. 187-200

GARAY, A. et al. Tecnología poscosecha para pequeñas empresas de semillas. CIAT, 1992. 58 p.

GUTIERREZ, U.; FUENTES, C. y VELAZQUEZ I. Desarrollo de una pequeña empresa de semillas (PES): El caso de la Cooperativa «COAGROSANGIL» Colombia. CIAT, 1991. 25 p.

HABICH, G. Pequeñas empresas de semillas. En: CIAT-DIGESA. Taller Centroamericano sobre «Desarrollo de Sistemas de Pequeñas Empresas». Guatemala, 1991. 6 p.

ISCA. Granos: El cultivo de maíz. San José de Las Lajas, Habana Cuba, 1987. 316 p.

PARRA, F. Acondicionamiento de semillas. En: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Curso de Actualización sobre Tecnología de Semillas. Memorias. México, 1983. 101 p.