

# Evaluación de pérdidas de grano en cosecha de arroz con combinada

Se realizó una investigación para evaluar las pérdidas de grano presentadas en la recolección de arroz con combinada en la región de Ambalema (Tolima).

Se utilizaron las variedades CICA 8, CICA 9 e IR-22, y las combinadas John Deere 955R, Case 960 y Case 1200.

Se tomaron datos climatológicos (humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, etc.), características del cultivo (humedad del grano (bh), densidad, altura de los tallos, etc.), y parámetros de operación de la combinada (velocidad del cilindro, velocidad del molinete, índice del molinete, separación cilindro-cóncavo, etc.) durante todo el tiempo del ensayo.

Se evaluaron las pérdidas naturales, las pérdidas en el cabezote, las pérdidas en la trilla y las pérdidas en la separación y limpieza.

Las pérdidas promedias presentadas en la combinada fueron: 1.44% en el cabezote, 1.56% en la trilla, 4.12% en la separación y limpieza, y en total el 7.17% en 39 observaciones realizadas.

Las variables independientes que más influyeron en las pérdidas fueron la humedad del grano y la humedad relativa.

**JOSE M. CHAPARRO C.**  
Ingeniero Agrónomo, M. Sc.  
Profesor Asociado  
**JORGE R. DEVIA M.**  
Ingeniero Agrícola  
**JOSE A. ZEA P.**  
Ingeniero Agrícola

## LISTA DE SIMBOLOS

ALBAR	=	Altura de la barra de corte (m).
ALTA	=	Altura de los tallos (m)
HUMGRA	=	Humedad del grano (% bh)
INDICE	=	Índice del molinete.
PERCAB	=	Pérdida en el cabezote (%)
PERSEL	=	Pérdida en la separación y limpieza (%).
PERTOT	=	Pérdidas totales (%)
PERTRI	=	Pérdidas en la trilla (%)
SEPARA	=	Separación cilindro-cóncavo a la entrada (cm)
VELCOM	=	Velocidad de la combinada (Km/hr).
VELM	=	Velocidad del molinete (m/min.)

## INTRODUCCION Y OBJETIVOS

La recolección mecánica del arroz (*Oryza sativa* L.) es la más utilizada en nuestro medio. Esta se hace con la combinada, máquina compleja cuyo costo de inversión es muy elevado para un trabajo temporal, y donde cualquier falla en el sistema representa altas pérdidas.

Considerando la necesidad de conocer las pérdidas de grano en la cosecha de arroz, y gracias a la colaboración de los propietarios y administradores de la hacienda "Pajonales" y otras en la región de Ambalema (Tolima), se realizó el presente trabajo.

Para los ensayos realizados se contó con máquinas John Deere 955 R, Case 960 y Case 1200.

La finalidad primordial del trabajo fue calcular las pérdidas en los diferentes sistemas de la combinada, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Condiciones físicas del producto que hay que recolectar;
- Condiciones ambientales; y
- Estado de la maquinaria.

Además, se buscó simplificar el sistema de evaluación de pérdidas con máquinas en movimiento.

## REVISION DE LITERATURA

### El arroz

El arroz es una de las plantas más antiguas cultivadas. Se considera que empezó a sembrarse 3000 a. de C. en China.

A la especie *Oryza sativa* L., pertenece la mayoría de variedades cultivadas comercialmente y se ha adaptado para desarrollarse en suelos inundados.

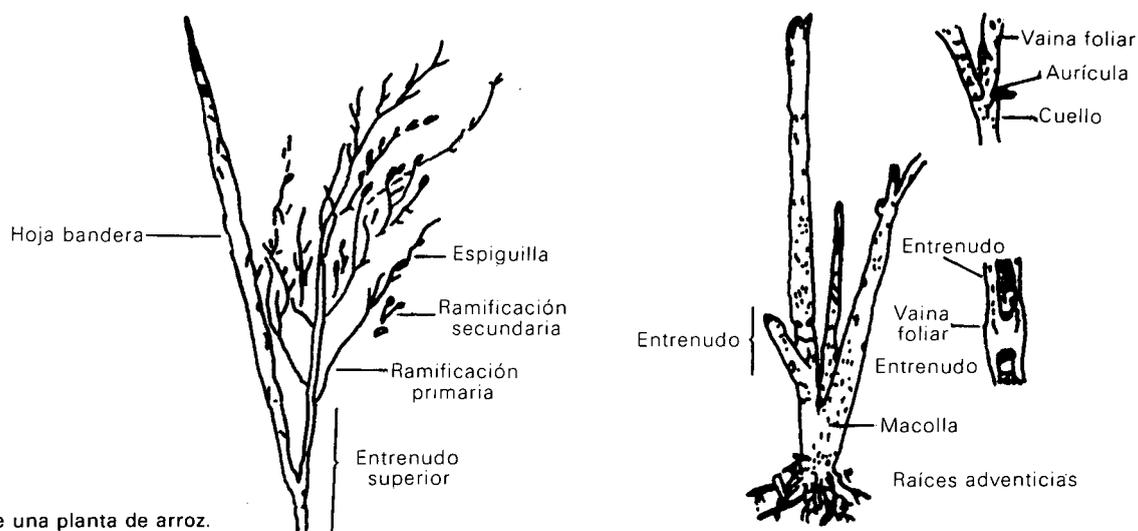


FIGURA 1. Partes de una planta de arroz.

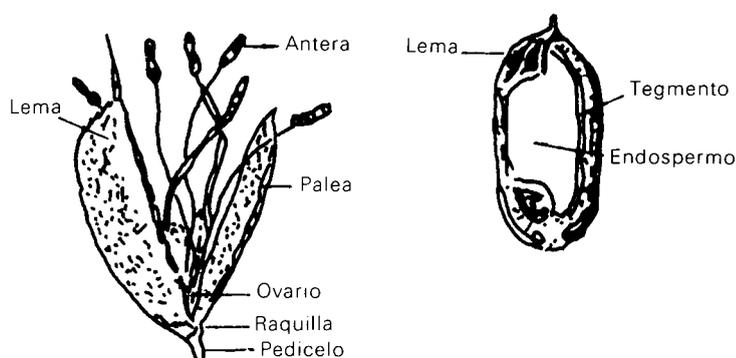


FIGURA 2. Partes del grano y de la flor.

Resumiendo las características morfológicas de la planta de arroz podemos establecer las siguientes generalidades:

**Raíz:** En sus primeros estados es poco ramificada, posteriormente se ramifica ampliamente con consistencia fibrosa. Las variedades precoces tienden a formar sistemas radiculares y pequeños, mientras que las tardías los forman fuertes y muy desarrollados.

**Tallo:** Está formado por nudos y entrenudos en disposición alterna. Las macollas crecen a partir del tallo principal en un orden alternado. Los tallos primarios crecen del nudo más bajo, y de allí salen los secundarios, y éstos a su vez dan origen a los terciarios.

**Hojas:** Son alternas y dispuestas en dos rangos a lo largo del tallo. La primera hoja que aparece en la base del tallo está constituida por dos brácteas.

**Panoja:** Está situada sobre el entrenudo apical del tallo. El último nudo, sobre el que se inicia el eje principal de la panoja, se denomina nudo ciliar o base de la panoja. La panoja está constituida por un eje principal con ramificaciones primarias y secundarias, y en casos excepcionales, terciarias. La panoja se mantiene erecta durante la floración, pero luego se dobla por el peso de los granos. La mayoría de variedades tienen entre 100 y 150 gramos por panoja.

**Flor:** Está constituida por seis estambres y un pistilo.

Está el ovario, el estilo y el estigma.

La flor es hermafrodita y la polinización es directa, aun cuando hay un porcentaje pequeño de polinización cruzada.

**Grano:** Es una cariopside que posee la semilla adherida a la pared del ovario o pericarpio. Las glumas, glumelas, raquis y arista forman la cáscara. A continuación del pericarpio que tiene una coloración marrón se encuentra un tegmento que constituye la cubierta de la semilla.

La figura 2 muestra la flor y el grano.

**Variedades:** Las variedades comerciales que en Colombia han logrado altos rendimientos son: CICA 8, CICA 9 e IR-22, cuyas características se observan en la Tabla 1. Actualmente, el ICA ha entregado para ensayos de multiplicación la variedad *Oryzica-1*.

## LA COMBINADA

### Componentes

La figura 3 muestra una máquina cosechadora de arroz, comúnmente denominada "combinada". Como el objetivo del presente trabajo no es describir la combinada, mencionaremos solamente los elementos de la máquina que efectúan las funciones de la combinada.

### Funciones

La máquina efectúa las siguientes labores:

- Corte: Molinete y cuchilla de corte.
- Alimentación: Caracol o sinfín y Cadena

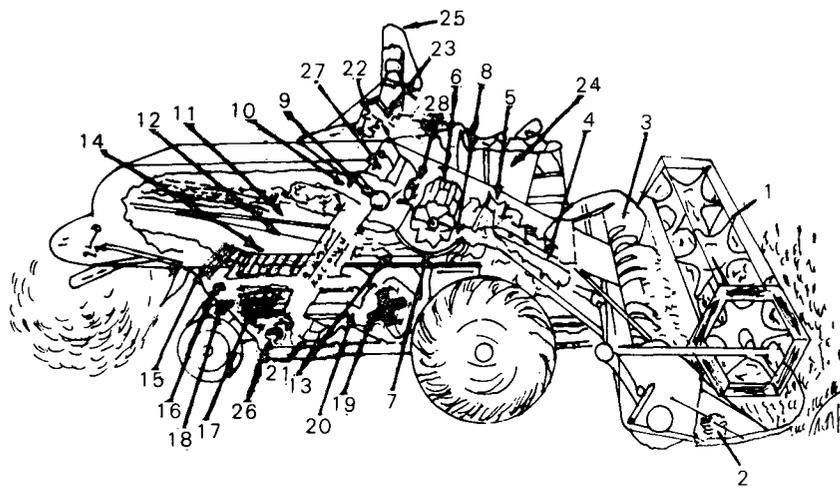


FIGURA 3. Partes constitutivas de una combinada.

- 1) Molinete
- 2) Barra de corte
- 3) Sinfín de cabezote
- 4) Elevador de alimentación
- 5) Batidor de alimentación
- 6) Cilindro
- 7) Cóncavo
- 8) Separación ajustable del cóncavo
- 9) Batidor
- 10) Diafragma de retardo
- 11) Saca pajas
- 12) Retorno de grano
- 13) Zaranda de grano
- 14) Zaranda superior
- 15) Extensión de la zaranda superior
- 16) Ajuste de la zaranda superior
- 17) Zaranda inferior
- 18) Ajuste de la zaranda inferior
- 19) Ventilador
- 20) Ajuste del ventilador
- 21) Sinfín del grano limpio
- 22) Elevador del grano limpio
- 23) Sinfín de nivelación del grano
- 24) Tanque del grano
- 25) Sinfín de descargas
- 26) Sinfín de material de retrilla
- 27) Elevador de retrilla
- 28) Sinfín distribuidor de retrilla

transportadora.

c) Trilla: Cilindro y cóncavo.

d) Separación: Batidor, sacapajas, parrilla y deflectores.

e) Limpieza: Ventilador, acarreador y zarandas.

Además hay otra serie de elementos de la máquina, que trabaja con los mencionados anteriormente, como también que la máquina posee sistemas de entrega a granel o en bultos.

### Ajustes

Usualmente el Manual del Operador de la máquina indica los ajustes en los diferentes sistemas para lograr una máxima eficiencia. En algunas ocasiones es necesario hacer ensayos, pues los valores dados corresponden a variedades diferentes de otros países.

### Pérdidas

Generalmente se consideran pérdidas debidas a las condiciones del cultivo (de precosecha o naturales) y pérdidas debidas a la máquina.

Según esto se podrían clasificar las pérdidas en:

- a) Pérdidas de precosecha (o naturales)
- b) Pérdidas en el cabezote.
- c) Pérdidas en la trilla.
- d) Pérdidas de separación.
- e) Pérdidas de limpieza.

En algunas máquinas se puede considerar otro tipo de pérdidas debido a las fugas.

Las pérdidas de precosecha son aquellas que ocurren antes de empezar a recolectar con la combinada, por efecto de volcamiento, o condiciones climatológicas adversas.

Las pérdidas en el cabezote se presentan por operación inadecuada del molinete, o por acción de las cuchillas. Si la cosecha es erecta se esperan pérdidas mínimas en el cabezote. Se presentan como granos que quedan en el campo al ser golpeadas las panojas por el molinete y espigas que

han sido cortadas por las cuchillas, pero caen fuera de la plataforma.

Las pérdidas en la trilla están dadas por granos que quedan en las espigas al pasar el material entre el cilindro y el cóncavo. Se considera que una buena trilla debe tener pérdidas inferiores al 1%.

Las pérdidas de separación se presentan cuando el grano que ha sido separado de la espiga no atraviesa el sacapajas y sale de la combinada con los residuos de la cosecha. Estas pérdidas se incrementan por una alimentación excesiva de material.

Las pérdidas de limpieza se presentan en el grano recogido de la cosechadora cuando hay residuos de material que demeritan la calidad del producto, o por efecto de un excesivo flujo de aire que saca el grano limpio de la combinada. Usualmente estas pérdidas no se pueden separar de las pérdidas de separación.

## MATERIALES Y METODO

### Materiales

#### 1. Variedades de arroz

IR-22, CICA 8, CICA 9 y Pajonales (Surinam).

#### 2. Equipo

- a) Combinadas John Deere 955R, Case 960 y Case 1200.
- b) Balanza Ohaus con capacidad de 2.6 Kg.
- c) Tacómetro Jaquet con rango de lectura de 60 a 24.000 rpm.
- d) Medidor de humedad Burroughs.
- e) Hidrómetro con termómetro incorporado Abbeon.
- f) Cronómetro Citizen
- g) Cinta de 20 m.
- h) Flexómetro.
- i) Lona.
- j) Estacas y martillo.
- k) Piola.
- l) Bolsas plásticas.

### Método Pérdidas de precosecha

En la zona que había que cosechar se demarcaron tres cuadrados de  $0.50 \times 0.50$  m. Se contaron los granos caídos en dichas áreas y se promediaron los resultados. Como usualmente el peso hallado era muy pequeño, se estandarizó el peso de 100 gramos y por regla de tres se calculó el peso de los "n" granos recogidos en las áreas.

Peso de "n" granos = "n" granos  $\times$  gramos/100 granos (1)

### Pérdidas en el cabezote

Para la determinación de estas pérdidas se tapó con una lona la zona de expulsión de la combinada, al avanzar aproximadamente 5 m. y en la zona se delimitaron 2 rectángulos de 1 m. de largo por el ancho del corte de la combinada (12' para la John Deere y 13' para la Case 960 y Case 1200). (Véase figura 4).

Los granos y espigas caídos se recogieron en bolsas plásticas, se pesaron y se promediaron. Para el cálculo de las pérdidas en el cabezote se consideraron las pérdidas de precosecha.

### Pérdidas en la trilla

Luego de avanzar la combinada con la zona de expulsión tapada se retiró la lona y se dejó caer el tamo y residuos al suelo. En esta zona se delimitaron 3 rectángulos de 0.40 m. por el ancho de expulsión de la combinada. (Ver Figura 5). De esta zona se recogieron las espigas y se colocaron en bolsas plásticas marcadas debidamente para luego ser desgranadas y pesadas.

### Pérdidas de separación y limpieza

Sobre los mismos rectángulos donde se delimitaron las pérdidas en la trilla, y luego de levantar los residuos de tamo y paja dejados por la combinada, se recogieron los granos sueltos y se colocaron en bolsas plásticas debidamente marcadas, para luego ser pesados y los valores promediados. (Figura 6). Un esquema del sistema empleado para evaluar las pérdidas puede observarse en la figura 7.

### RELACIONES PARA EL CALCULO DE LAS PERDIDAS

Se dio la siguiente nomenclatura:

- $P_c$  = Pérdidas en el cabezote (Kg/Ha).
- $P_n$  = Pérdidas naturales o de precosecha (Kg/Ha).
- $P_t$  = Pérdidas en la trilla (Kg/Ha).
- $P_{sl}$  = Pérdidas de separación y limpieza (Kg/Ha).
- $P_t$  = Pérdida total (Kg/Ha).
- $P_r$  = Pérdidas de recolección (Kg/Ha).
- $P_g$  = Promedio de granos pesados en un área de un metro por el ancho de la barra de corte. (Kg/Ha).
- $P_{g1}$  = Promedio de granos sueltos pesados en un área de 0.4 m. por el ancho de expulsión de la combinada (Kg/Ha).
- $P_{c1}$  = Pérdidas en el cabezote y pérdidas naturales en un área de 0.40 m. por el ancho de expulsión de la combinada (Kg/Ha).

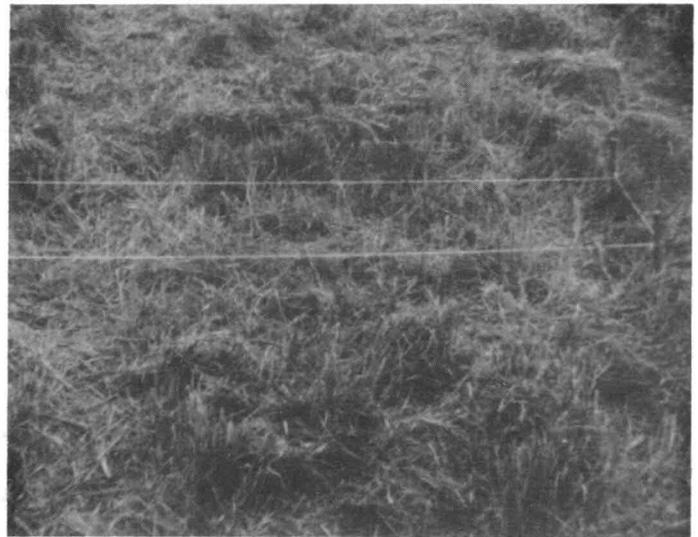


FIGURA 4. Delimitación de un área de un metro por el ancho de la combinada para el cálculo de pérdidas en el cabezote.



FIGURA 5. Delimitación de un área de 0.40 metros por el ancho de expulsión de la combinada para la determinación de pérdidas en trilla.



FIGURA 6. Delimitación de un área de 0.40 m. por el ancho de expulsión de la combinada en un área donde no ha caído paja, para la determinación de pérdidas de separación y limpieza.

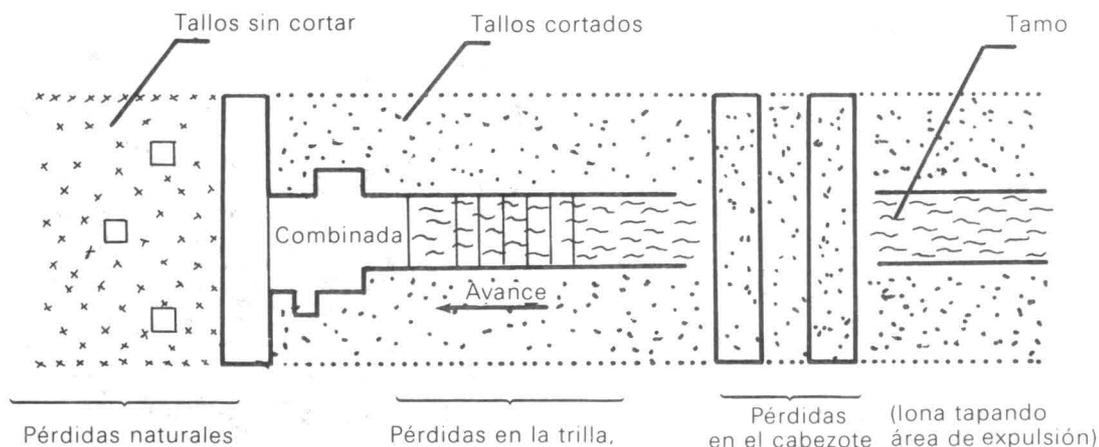


FIGURA 7. Esquema donde se muestra el sistema empleado para evaluar las pérdidas de cosecha en recolección mecanizada de arroz.

Las relaciones matemáticas fueron:

$$P_c = P_g - P_n \quad (2)$$

$$P_{sl} = P_{gl} - P_{cl} \quad (3)$$

$$P_t = P_c + P_n + P_t + P_{sl} \quad (4)$$

$$P_r = P_c + P_t + P_{sl} - P_n \quad (5)$$

La velocidad de avance de la combinada se midió sobre una longitud de 40 m.; la velocidad del molinete se calculó colocando una bayetilla en un extremo del molinete y midiendo las rpm (Figura 8). La velocidad del cilindro se obtuvo con un tacómetro mecánico, (Figura 9). Y para hallar la velocidad del flujo del ventilador se determinó la velocidad del aire con un anemómetro y se midió el área de la sección de salida del aire (Figura 10).

## RESULTADOS

### Mediciones en la máquina

En primer lugar se consideraron las características mecánicas de las 3 combinadas estudiadas. Las dos Case presentan características muy similares, mientras que la John Deere posee más potencia al freno (103 vs. 93 HP), es más angosta (3.65 m. vs. 3.96 m.), posee sistema de limpieza de aire a presión y el

diámetro del cilindro tiene 6 pulgadas más que las Case.

### Peso promedio de granos

La tabla 2 muestra el peso promedio de 100 granos y de 1 grano para las variedades estudiadas.

### Resultados de los ensayos de campo

Para los ensayos de campo hubo necesidad de acomodar la investigación a la programación de actividades de la hacienda "Pajonales". Mediante un formulario especial, se anotó toda la información de 39 ensayos realizados. Dicha información comprendió:

- a) Características del cultivo.  
Variedad de arroz, fecha de siembra, período vegetativo, estado del cultivo, humedad del grano, altura de los tallos, presencia de malezas, densidad de siembra y condiciones del terreno.
- b) Datos climatológicos.  
Comprendió: A.S.N.M., temperatura en el momento de la cosecha (°C), humedad relativa (%), hora del ensayo y condiciones ambientales antes y durante el ensayo.
- c) Mediciones en la máquina.

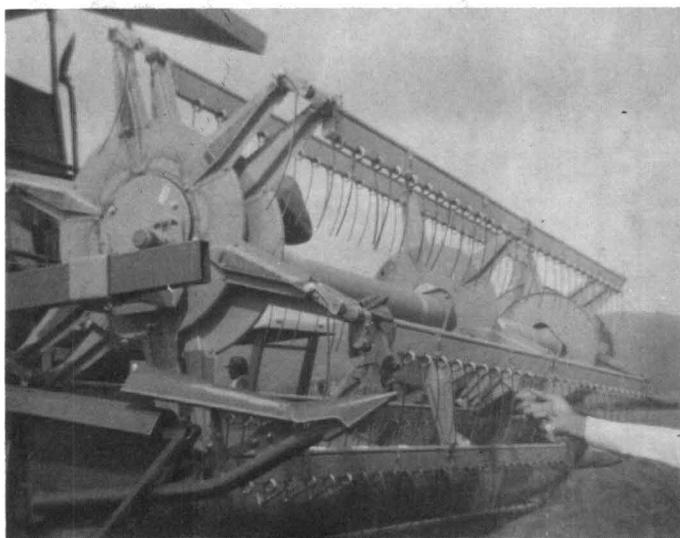


FIGURA 8. Forma de determinar la velocidad del molinete para calcular el índice del molinete.

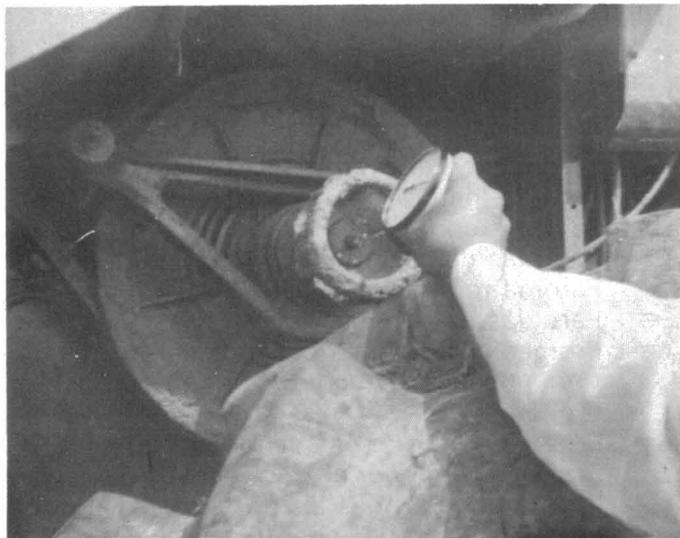


FIGURA 9. Determinación de la velocidad del cilindro de la combinada mediante un tacómetro mecánico.

Tabla 1.  
Características de las variedades CICA B, CICA 9 e IR-22

Características	CICA 8*	CICA 9**	IR-22***
Adaptac. sobre el n. m. (m)	0-700	0-1.200	0-700
Sistema de cultivo	riego-secano	riego-secano	riego espe
Rendimiento por Ha (Ton)	5 a 7	5 a 7	5 a 8
Cruce		IR665 X p894	IR8 X Taduka
Altura en (cms)	80 a 110	90 a 110	95 a 105
Desarrollo de la plántula	vigorosa	vigorosa	vigorosa
Macollamiento	alto	alto	alto
Tallos	gruesos	gruesos	gruesos
Color de hojas	verde-oscuro	verde-oscuro	verde-oscuro
Hoja bandera	erecta	erecta	erecta
Posición de las hojas	erectas	erectas	erectas
Color del grano	crema claro	habano	blanco
Arista	sin arista	sin arista	sin arista
Apariencia del grano desc.	translúcido	translúcido	vitreo
Contenido de amilosa (%)	30	31	29
Resistencia a Sogata	resistente	resistente	moderada
Resistencia a hoja blanca	resistente	moderada	moderada
Resistencia a cercospora	resistente	resistente	resistente
Resistencia a los barre. tallo	moderada	moderada	resistente
Resistencia a la pudri. vaina	moderada	moderada	moderada
Resistencia a Piricularia	tolerante	tolerante	susceptible
Tendencia al desgrane	moderada	moderada	leve
Período vegetativo (días)	120 a 130	126 a 138	115 a 125
Resistencia al vuelco	moderada	moderada	buena
Densidad de siembra (Kg/Ha)	88 a 160	80 a 150	125 a 150
Suscept. a cambios de temp	no suscept.	no suscept.	suceptible
Grano ancho X largo (mm)	1.9 X 7	2 X 7	1.9 X 6.8
Calidad de molino	buena	buena	muy buena
Calidad de cocina (arroz seco)	buena	buena	muy buena

\* Martínez (12)

\*\* Rosero (20)

\*\*\* Fedearroz (2)

Para cada ensayo se hicieron las siguientes mediciones: Velocidad del molinete (rpm), velocidad de avance de la combinada (m/min), altura de la barra de corte (m), altura del extremo del molinete con respecto a la barra de corte (m), distancia horizontal del centro del molinete a la barra de corte (m), velocidad del cilindro (rpm), estado de las cuchillas, separación cilindro-

cóncavo a la entrada (cm), velocidad del eje del sacapajas (ciclos/min), velocidad del aire (m/min), área de salida del ventilador (m<sup>2</sup>), velocidad de la barra de corte (ciclos/min).

d) Datos de campo.

Los datos de campo analizados fueron:

Tabla 2

Peso promedio del grano de cada una de las variedades utilizadas en el estudio de evaluación de pérdidas de arroz en recolección con combinada.

Variedad	Peso promedio 100 granos (gr)	Peso promedio 1 grano (gr)
Pajonales	3.8	0.038
CICA 8	2.8	0.028
CICA 9	3.5	0.035
IR-22	2.6	0.026



FIGURA 10. Medición de la velocidad del aire en el ventilador de la combinada mediante un anemómetro.

Número de granos en 0.25 m<sup>2</sup> antes de pasar la cosechadora, peso de los granos recogidos en 0.25 m<sup>2</sup>, determinación del área de recolección, peso del material recogido en el área de recolección (gr.), ancho de la cola de la combinada (m.), ancho equivalente de recolección (m.), peso de las espigas recogidas por la cola de la combinada (gr.)

Ens. Nº	Rendimiento (Kg/ha)		Pérdidas (%)				
	neto	bruto	Prec.	Cabe.	Tril.	Sep. Limp.	Totales
1	5200	5394	0.085	1.55	1.61	0.35	3.61
2	5200	5554	0.082	1.39	1.75	3.15	6.38
3	5200	5544	0.080	4.10	1.93	0.09	6.20
4	4837	5081	0.050	0.96	0.78	3.00	4.80
5	4837	5102	0.050	1.11	0.85	3.20	5.21
6	4837	5050	0.050	0.80	0.71	2.85	4.41
7	6150	6455	0.050	1.56	0.85	2.18	4.74
8	6150	6586	0.050	2.42	1.14	3.02	6.63
9	6150	6425	0.50	1.19	0.90	2.74	4.28
10	6150	6329	0.05	0.53	1.13	0.77	2.83
11	6150	6350	0.050	0.93	1.27	0.89	3.15
12	6053	6272	0.070	0.99	1.17	0.79	3.02
13	6083	6406	0.070	2.68	1.01	1.29	5.03
14	6141	6516	0.040	0.45	1.75	4.50	5.74
15	6141	6483	0.040	0.66	0.73	3.99	5.42
16	5437	5859	0.050	0.27	1.07	5.94	7.23
17	6053	6501	0.060	1.38	0.82	4.16	6.42
18	6083	6399	0.070	1.94	2.10	0.78	4.95
19	6615	7293	0.60	1.51	2.33	5.42	9.32
20	6615	7440	0.060	2.39	2.16	6.49	11.10
21	5924	7039	0.060	1.82	3.32	10.68	15.85
22	6050	6418	0.070	1.34	1.57	2.77	5.75
23	6050	6446	0.070	1.55	1.66	2.88	6.16
24	5924	6926	0.060	1.87	3.02	9.51	14.47
25	5924	6376	0.070	1.78	1.96	3.29	7.10
26	6230	6553	0.048	2.48	0.61	1.79	4.93
27	6863	7240	0.040	0.32	0.95	3.88	5.20
28	5419	5761	0.036	1.20	2.05	2.63	5.92
29	5419	5784	0.040	1.39	2.05	2.86	6.34
30	4169	4758	0.066	1.31	0.55	10.44	12.36
31	4393	4994	0.052	0.95	0.67	10.37	12.06
32	5419	5662	0.037	2.68	1.14	0.43	4.29
33	4724	5471	0.071	1.18	3.54	8.86	13.65
34	4393	4928	0.053	1.77	0.97	8.06	10.87
35	6143	6547	0.053	1.16	0.91	7.06	9.18
36	4169	4725	0.072	2.13	0.90	8.68	11.78
37	6033	6357	0.054	0.82	0.84	3.38	8.10
38	4724	5455	0.071	0.94	7.98	4.51	13.43
39	6863	7216	0.043	0.32	0.96	3.58	4.90

**Tabla 3.**  
Rendimientos y resultados de las pérdidas consideradas en el estudio de evaluación de la cosecha de arroz

Ensayo Nº	Velocidad molinete (m/min)	Indice del molinete (°)	Velocidad cilindro (m/min)	Flujo de aire (m <sup>3</sup> )	Velocidad combinada (kph)
1	75.03	2.53	1156.25	100.80	1.60
2	53.30	3.57	1383.19	136.00	1.57
3	76.03	2.41	1156.25	100.80	1.90
4	86.39	2.54	996.51	125.00	2.04
5	89.85	2.54	1054.00	125.00	2.12
6	86.39	2.54	596.51	125.00	2.04
7	89.85	2.15	1054.00	83.50	2.51
8	89.95	2.15	1054.00	83.50	2.51
9	86.39	2.08	958.19	126.00	2.53
10	86.39	2.05	958.19	126.00	2.53
11	86.39	2.05	958.19	126.00	2.53
12	89.85	2.03	1054.00	126.00	2.65
13	89.85	2.31	1054.00	126.00	2.33
14	79.46	2.72	1185.00	103.80	1.75
15	85.39	3.24	1383.19	136.00	2.60
16	89.85	3.44	1383.19	136.00	1.87
17	86.39	1.85	1054.86	83.50	2.81
18	86.39	1.85	958.19	83.50	1.75
19	76.83	3.47	1054.00	126.00	1.83
20	89.55	2.17	1054.00	83.50	2.48
21	89.55	1.96	958.19	83.50	2.76
22	93.30	2.56	1054.00	77.50	2.18
23	93.30	2.56	1054.00	77.50	2.18
24	86.39	2.08	958.19	126.00	2.49
25	76.03	1.84	1149.82	126.00	2.49
26	89.85	2.16	1149.82	83.50	2.51
27	79.45	2.85	862.36	126.00	1.57
28	86.39	2.82	958.19	83.50	1.84
29	86.39	2.82	958.19	83.50	1.84
30	76.03	2.47	1156.25	100.80	1.85
31	76.03	2.53	1156.25	100.80	1.80
32	82.94	3.00	862.36	126.00	1.65
33	79.48	2.11	1245.60	83.50	2.25
34	87.94	3.05	862.36	126.00	1.52
35	82.94	2.35	1103.80	83.50	2.12
36	79.48	2.94	862.36	125.00	1.57
37	79.48	2.28	1187.48	125.00	2.09
38	79.48	2.40	1149.82	125.00	1.99
39	79.48	1.84	862.35	125.00	2.59

**Tabla 4.**  
Resultados de diferentes parámetros tomados con respecto a la máquina para evaluar las pérdidas

y peso de los granos sueltos recogidos por la cola de la combinada (gr.), toda la información se llevó a pérdidas en Kg/Ha. Calculadas las pérdidas se elaboro la tabla de rendimientos con base en el peso del material recolectado. Los valores de estos rendimientos y pérdidas se muestran en la Tabla 3. Los resultados de los parámetros de la combinada se observan en la Tabla 4.

### ANALISIS DE RESULTADOS DE CAMPO

Los valores del índice del molinete (relación entre la velocidad lineal del molinete a la velocidad de desplazamiento de la máquina) fueron desde 1.84 a 3.57. Por la densidad de los cultivos las velocidades de operación fueron bajas (promedio de 2.14 Km/hr) y pueden considerarse muy inferiores a las normales (4.0 a 5.6 Km/hr). Para reducir las pérdidas en el cabezote se recomienda un índice del molinete entre 1.25 y 1.50 según Kepner (9), pero no fue posible trabajar con estos valores debido a que las máquinas no estuvieron totalmente a disposición de los investigadores.

La separación entre cilindro y cóncavo fue normal dentro de los valores dados por los Manuales del Operador (5.8), y de acuerdo con la experiencia del operador.

Los valores de humedad del grano fueron desde 12.96% bh a 23.46% bh con un promedio de 19.56% bh, rango que incluye los valores recomendados por Nangju y De Daha, citados por Montenegro (14) que dan valores óptimos para la recolección de arroz entre 18% bh y 23% bh.

La altura de la barra de corte tuvo valores desde 0.27 m. hasta 0.65 m. dependiendo de la variedad estudiada y el estado del cultivo.

La humedad relativa promedio fue de 62% con un mínimo del 48% y un máximo del 76%.

El rendimiento promedio de los lotes fue de 5663 Kg/Ha, considerado normal dentro de los rendimientos de la zona.

La tabla 5 muestra los valores de pérdidas de grano para las 4 variedades estudiadas.

### ANALISIS ESTADISTICO

Para efectuar el análisis estadístico se utilizó el paquete Statistical Analysis System (SAS), con el computador IBM 360 de la Universidad Nacional, y un computador Commodore VIC 20, para el cual se empleó el lenguaje BASIC y se planteó el análisis de las siguientes ecuaciones:

- a) Modelo lineal  $Y = A + BX$   
 b) Modelo polinomial  $Y = A + BX + CX^2$   
 c) Regresión múltiple  $Y = A + BX_1 + CX_2 + MX_n$   
 d) Exponencial  $Y = Ae^{Bx}$   
 e) Logarítmico  $Y = A + Bx \text{ LOG}(x)$   
 f) Potencial  $Y = AX^B$

Después de hacer las pruebas de significancia (prueba de F) se encontró que para los diferentes parámetros de las máquinas y las variedades estudiadas (variables independientes), se podían establecer relaciones con las pérdidas obtenidas (variables dependientes). Un resumen de esas relaciones se encuentra en la Tabla 6. Este análisis se hizo por marca de máquina, por variedad e independientemente de la marca y de la variedad.

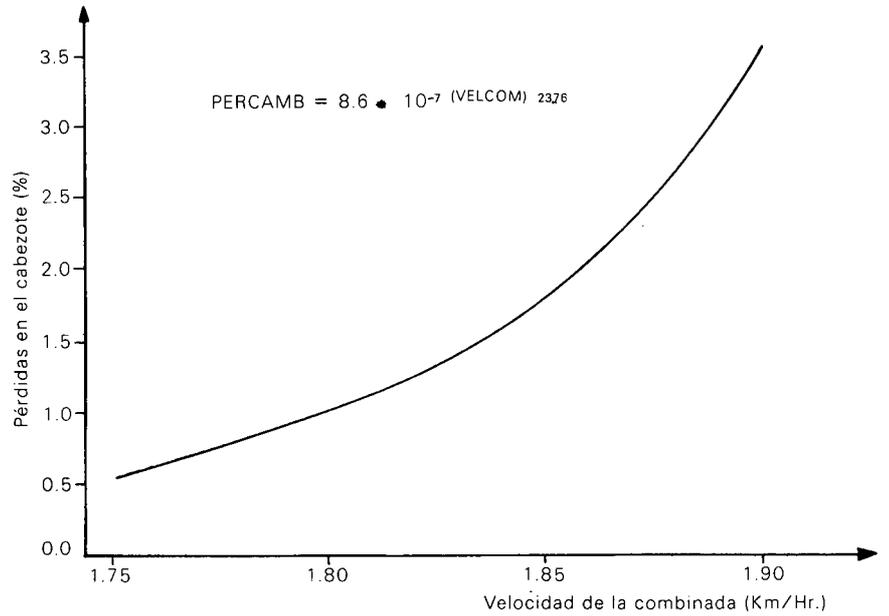
### ANALISIS DE LAS GRAFICAS

Observemos la gráfica 1; recolectando con la máquina Case 960 (A1), las pérdidas en el

Tabla 5  
Valores mínimos y máximos de pérdidas presentadas en las 4 variedades estudiadas

Variedad	Valores	Pérdidas (%)				
		Naturales	Cabezote	Trilla	Separac. y limpieza	Totales
Pajonales (5 ensayos)	Mínimo	0.050	0.96	0.79	0.09	3.61
	Máximo	0.085	4.10	1.93	3.20	6.38
	$\bar{x}$	0.069	1.82	1.39	1.96	5.24
	Desv. st.	0.020	1.29	0.53	1.59	1.13
CICA 8 (6 ensayos)	Mínimo	0.050	0.80	0.71	0.77	2.83
	Máximo	0.050	2.42	1.27	3.02	6.63
	$\bar{x}$	0.050	1.31	1.01	1.98	4.34
	Desv. st.	0.000	0.63	0.22	0.95	1.35
CICA 9 (14 ensayos)	Mínimo	0.040	0.27	0.73	0.78	3.02
	Máximo	0.070	2.68	3.32	10.65	15.85
	$\bar{x}$	0.061	1.47	1.70	4.45	7.68
	Desv. st.	0.010	0.70	0.83	2.97	3.72
IR-22 (14 ensayos)	Mínimo	0.036	0.32	0.546	0.43	4.29
	Máximo	0.072	2.68	7.98	10.44	13.65
	$\bar{x}$	0.054	1.32	1.72	5.47	8.57
	Desv. st.	0.010	0.72	1.97	3.34	3.64

x = Promedio.



GRAFICA 1. Pérdidas en el cabezote (%) vs. velocidad de la combinada (Km./Hr.)

Tabla 6  
Muestra de algunas ecuaciones que relacionan las variables estudiadas en el análisis estadístico.

Variable	Ecuaciones ajustadas (*)
Combinada Case 960	PERCAB = $8.6 \times 10^7 (VELCOM)^{2376}$ PERSEL = $0.07 - 17.68 \text{ Log (ALTA)}$
Combinada Case 1200	PERCAB = $35.07 e^{-0.21(HUMGRA)}$ PERTRI = $1.77 (ALTA)^{2.78}$
Combinada John Deere 955 R	PERSEL = $482.15 e^{-0.25(HUMGRA)}$
Variedad Pajonales	PERCAB = $0.02 e^{8.03(ALBAR)}$ PERTRI = $4.17 - 0.17 (HUMGRA)$
Variedad CICA 9	PERCAB = $13.40 e^{-0.99(INDICE)}$ PERTRI = $0.41 e^{-0.49(SEPARA)}$
Variedad CICA 8	PERCAB = $4.49 \times 10^9 e^{0.22(VELM)}$ PERTRI = $2.73 e^{-1.40(ALTA)}$
Variedad IR-22	PERSEL = $695.32 e^{-0.28(HUMGRA)}$ PERTOT = $90.23 e^{-0.13(HUMGRA)}$

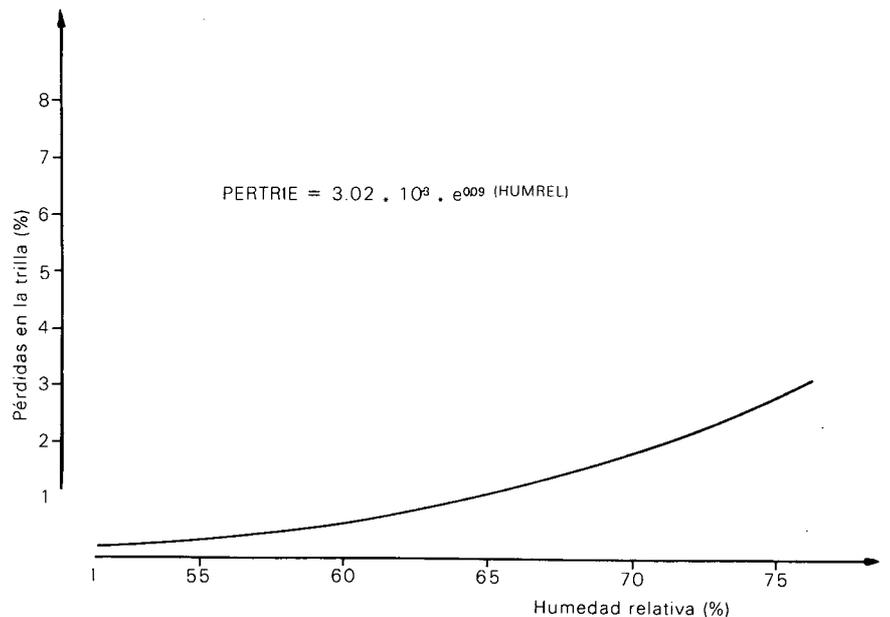
(\*) Ver lista de símbolos.

cabezote son 0.5% cuando la combinada opera a una velocidad de 1.75 Km/hr; si se aumenta la velocidad a 1.9 Km/hr. las pérdidas aumentan a 3.5%. Esto debido a la alta densidad de los cultivos; está de acuerdo con lo que dice Griffin (5) que la velocidad de avance es gobernada por la densidad del cultivo.

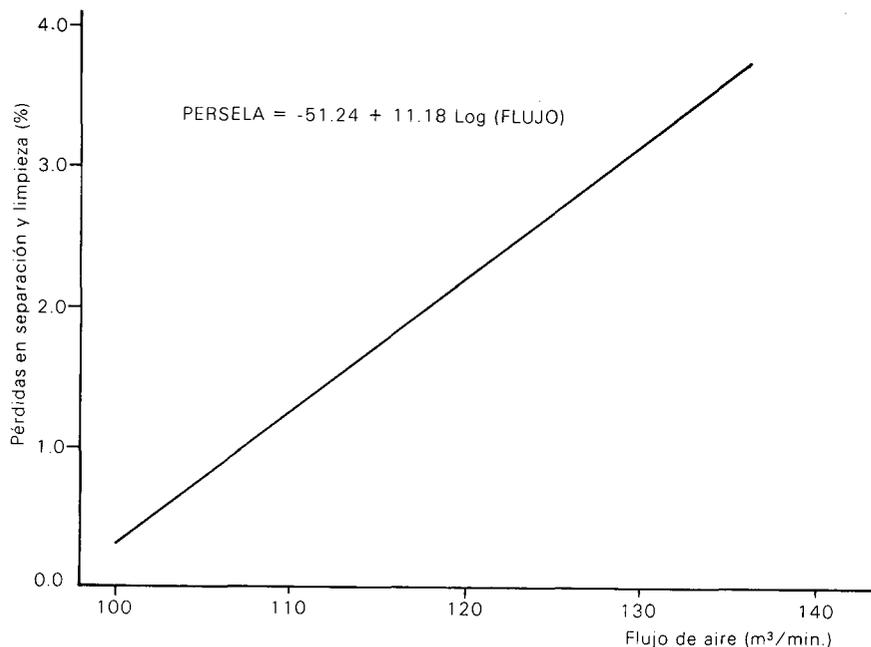
Se deduce de la gráfica 2, para la variedad IR-22 (C4) que cosechando con humedades relativas altas se aumentan las pérdidas en la trilla, porque estando muy húmeda la espiga se adhiere al tamo evitando así un desgrane eficiente.

Al funcionar el ventilador con demasiado aire, se corre el riesgo de expulsar grano por la parte trasera de la combinada, esto se puede observar en la gráfica 3.

La relación de pérdidas totales (%) Vs. humedad del grano (% bh), para la variedad IR-22 (C4) mostrada en la gráfica 4, confirma que el rango óptimo de humedad del grano para alcanzar una alta eficiencia de la máquina en la recolección debe estar entre



GRAFICA 2. Pérdidas en la trilla (%) vs. humedad relativa (%)



GRAFICA 3. Pérdidas de separación y limpieza (% vs. flujo de aire (m³/min)).

22% bh y 23.5% bh, valores que concuerdan con los aconsejados por Nangju y De Daha citados por Montenegro (14).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

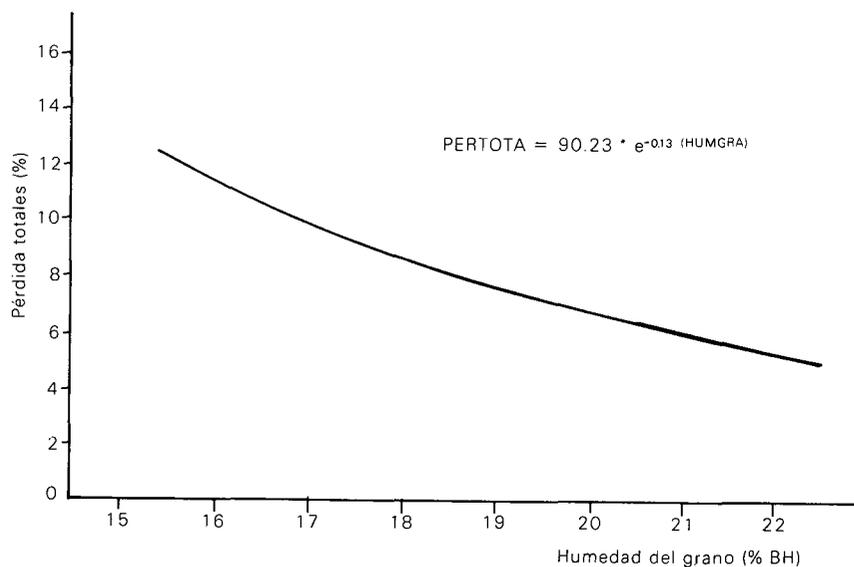
### Conclusiones

1. Las pérdidas en la máquina son funciones de múltiples variables independientes.
2. La humedad relativa es el factor climatológico que más influye sobre las pérdidas.
3. La humedad del grano es el factor del cultivo que más influye sobre las pérdidas.
4. El mayor porcentaje de pérdidas se presenta en la separación y limpieza y el menor en el cabezote.
5. El valor promedio de las pérdidas totales fue de 7.17%.

6. El método diseñado resultó práctico y económico ya que no es necesario suspender la recolección para obtener los datos.
7. Se hace necesario estudiar el índice del molinete en función de la densidad del cultivo.
8. Se encontró que el rango óptimo de humedad del grano para la recolección fue de 22 a 23.5% bh.

### Recomendaciones

1. Se aconseja calibrar la máquina para cada variedad.
2. Se recomienda tomar la humedad del grano y la humedad relativa antes de la cosecha. Con humedades del grano por debajo del 18% bh, se puede desgranar la espiga al ser golpeada por el molinete. Con humedades por encima del 23.5% el grano está muy verde. En cuanto a la



GRAFICA 4. Pérdidas totales (% vs. humedad del grano (% BH)).

humedad relativa se encontró que del 51% al 60% se obtienen pérdidas mínimas. Con humedades relativas mayores del 60%, el grano se adhiere al tamo causando una trilla difícil.

3. Para evitar que las máquinas operen en condiciones adversas se recomienda quitar el agua

por lo menos diez (10) días antes de la cosecha en lotes sembrados en piscinas y cinco (5) días antes en lotes sembrados en forma convencional para efectuar la recolección.

4. Se hace necesario estudiar más el tema y establecer más parámetros comparativos.

## BIBLIOGRAFIA

- Alonso, J.R.F. 1981. **Simple Basic Program for Busines Applications**. First Edition. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. U.S.A.
- FEDEARROZ. Colombia. 1971. **La CICA 4 y la IR-22 variedades de alto rendimiento**. Revista Arroz 20(209):20.
- Francois, M. et al. 1975. **Arroz**. INRA. Editora Científica Técnica. La Habana. Cuba.
- González, F. J. 1975. **Morfología de la planta de arroz**. En: Curso de Arroz. Primera Parte. FEDEARROZ. Bogotá. Colombia.
- Griffin, C.A. FMO. **Recolección con Cosechadoras**. Publicación de la John Deere. Moline. Illinois. U.S.A.
- Helwig, T. J. 1979. **SAS. Introductory Guide**. SAS Institute Inc. Gary. New Caroline. U.S.A.
- Hunt, D. R. 1973. **Farm Power and Machinery Management**. Sixth Edition. Iowa State University Press. Ames. Iowa. U.S.A.
- John Deere. 1976. **955-R Combine. Operator's Manual**. John Deere and Co. Moline. Illinois. U.S.A.
- Kepner, R.A. et al. 1975. **Principles of Farm Machinery**. Second Edition. AVI Publishing Co. Westport. Connecticut. U.S.A.
- Lien, R. M. et al. 1976. **Machine Losses in field Harvesting Popcorn**. Transactions of the ASAE 19(5):827-829. Saint Joseph. Michigan. U.S.A.
- Little, T. M. 1981. **Métodos Estadísticos para la investigación en la agricultura**. Primera Edición. Editorial Trillas S.A. México.
- Martínez, C. P. 1978. **CICA 8. Programa de Arroz**. ICAINFORMA. P. 1-6. Bogotá. Colombia.
- Mendoza, R. 1975. **Cosechadora Combinada de granos**. En: Curso de Arroz. Primera Parte. FEDEARROZ. Bogotá. Colombia.
- Montenegro, G. V. et al. 1972. **Influencia del contenido de humedad de los granos en la cosecha del Arroz**. Revista de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. 4(2): 3-15. Pasto. Colombia.
- Paulsen, M. R. **Corn damage from conventional and rotary combines**. Transactions of the ASAE 23(5): 1110-1116. Saint Joseph. Michigan. U.S.A.
- Pérez, M. O. 1973. **Aspectos prácticos sobre la recolección del arroz**. En: Curso de Arroz. FEDEARROZ. Bogotá. Colombia. p. 145-148.
- Reyes, T. J. 1979. **Evaluación de pérdidas de grano en cosecha de arroz, cebada, sorgo y soya realizada con combinada**. Ministerio de Agricultura. ICA. Colombia. p. 30-88.
- Robayo, P. R. 1973. **Epoca óptima de cosecha en algunas variedades de arroz**. Programa Nacional de Arroz. Quinta reunión anual. ICA. Cereté. Colombia.
- Romero, M. V. 1973. **Ecología del cultivo del arroz**. En: Curso de Arroz. Compendio N° 1. FEDEARROZ. Bogotá. Colombia. p. 16-19.
- Rosero, M. J. 1976. **CICA 9, variedad de arroz de alto rendimiento**. Revista Arroz 25(275): 18-24. FEDEARROZ. Colombia.
- Salj Paul, K. et al. 1976. **Combine separation and cleaning device-design concepts**. Transactions of the ASAE 19(6): 1025-1028. Saint Joseph. Michigan. U.S.A.
- SAS USER'S GUIDE. 1979. **SAS Introductory Guide**. SAS Institute inc. Cary. North Caroline. U.S.A.
- Schertz, C. E. et al. 1980. **Equipment and procedures for combine separation studies on wild rice**. Transactions of the ASAE 23(2): 309-311. Saint Joseph. Michigan. U.S.A.
- Spiegel, M. R. 1970. **Teoría y problemas de Estadística**. Traducido por Luis Gómez Espada. McGraw-Hill. México.
- Wiubleski, P.D. 1980. **Separation characteristics of conventional and non-conventional grain combines**. Transactions of the ASAE 23(3): 530-534. Saint Joseph. Michigan. U.S.A.