

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS MORFOFISIOLOGICAS ASOCIADAS CON EL RENDIMIENTO EN 15 LINEAS DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.)*

Germán Corchuelo R.
Ramiro de la Cruz U.**

1. INTRODUCCION

Los estudios fisiológicos indican que una alta producción de grano en cebada se alcanza cuando se tienen una debida interacción de variedad, ambiente y manejo agronómico. Convencionalmente, en los programas de mejoramiento de este cereal en Colombia, se han obtenido variedades mejoradas que superan cada vez más los rendimientos de grano por hectárea.

Los criterios fundamentales de selección por rendimiento han sido la producción de grano y los componentes primarios de dicha producción. Los avances logrados en base a los criterios citados han sido lentos y algunas veces limitados.

Conociendo los procesos fisiológicos involucrados en la producción (crecimiento vegetativo, formación de órganos de almacenamiento, llenado del grano), y los caracteres genéticos, es posible determinar la mejor combinación que conduzca a resultados satisfactorios.

En la formación y llenado de los órganos de almacenamiento, se ha encontrado que existen ciertas características morfofisiológicas que interactuando con el medio ambiente intervienen en la determinación del número de espigas/planta y del número de granos/espiga y en la producción de fotosintetizados, factores que en última instancia son los determinantes primarios del rendimiento.

Las anteriores apreciaciones, fundamentaron el propósito de la presente investigación cuyos objetivos básicos fueron:

- 1. Determinar los componentes del rendimiento y las características morfofisiológicas asociadas con el rendimiento en cebada.**
- 2. Establecer la relación existente entre los componentes del rendimiento, las características morfofisiológicas y el rendimiento.**

* Contribución del Dept. de Fisiología de Cultivos-Facultad de Agronomía Universidad Nacional-Bogotá. Resumen de la Tesis de Grado presentada por el autor principal para optar al título de Magister Scientiae. P.E.G. UN - I.C.A.

** Respectivamente: I.A., M.S., Profesor Asistente. Facultad de Agronomía Universidad Nacional. Bogotá. Ingeniero Agrónomo, Ph. D., Coordinador Nacional del Programa de Fisiología Vegetal. I.C.A. Apdo Aéreo 233 Palmira.

3. Obtener el modelo de regresión lineal múltiple para determinar el efecto de los componentes del rendimiento y/o los rasgos morfofisiológicos sobre el rendimiento.
4. Fijar el modelo de regresión lineal múltiple para precisar el efecto de caracteres morfofisiológicos sobre cada uno de los componentes primarios del rendimiento en cebada.

2. REVISION DE LITERATURA

Según Thorne (1966), la producción económica de un cultivo es una fracción de la producción total de materia seca o producción biológica, usualmente con contenidos bajos de agua.

El entender el manejo de la producción en términos fisiológicos, requiere por lo tanto, del conocimiento de aquellas partes del sistema fotosintético del cultivo, que actúan como fuentes de materia seca de la producción del grano.

La producción de grano en cebada es el producto del número de macollas por planta, del peso seco del grano y el número de granos por espiga y cuando uno de estos caracteres es determinado con el mínimo de error, los estimativos de magnitud relativa entre los componentes es un medio válido para determinar la causa de las fluctuaciones en la producción (Grafius, 1964; Johnson *et al*, 1966; Hsu y Walton, 1971; Puri, Qualset y Williams, 1982).

Yap y Harvey (1971), indican que la selección por caracteres morfofisiológicos es una forma prometedora de producir cultivares de alto rendimiento y concluyen que las oportunidades de éxito deben ser relativamente más altas al seleccionar por rasgos morfofisiológicos en vez de los componentes del rendimiento.

Los múltiples estudios sobre el aporte de fotosintetizados de las diferentes partes de la planta al llenado del grano en cebada han demostrado que los tejidos situados en el tercio de las plantas tales como el pedúnculo floral, la hoja bandera, la espiga y las aristas son los que contribuyen en una alta proporción en la producción económica, (Thorne, 1963).

Dentro de los varios caracteres de la hoja asociados con altas producciones el hábito de la hoja erecta parece ser el más importante. Pearce (1967), determinó que el follaje de la cebada con las hojas verticales alcanzó los valores más altos en fotosíntesis neta porque permite interceptación de luz por las hojas inferiores.

Resultados similares fueron encontrados por Gardener citado por Donald (1978) al comparar variedades de cebada de alto rendimiento con variedades de bajo rendimiento, las primeras presentaban hojas estrechas y erectas, mientras las segundas estaban caracterizadas por hojas anchas y decumbentes. Tanner *et al* (1966) encontraron que la selección en cereales menores, en base al ángulo y ancho de la hoja, había sido eficiente y concluyeron que el carácter hábito de la hoja es un criterio en la selección para cereales por rendimiento.

Yap y Harvey (1971), encontraron en cebada, que existen altos coeficientes de correlación entre el área de la hoja bandera y el área erectofila de la misma, pero si la hoja bandera está demasiado erecta en asociación con un corto pedúnculo, sería una característica indeseable ya que la hoja bandera puede evitar que la espiga reciba la máxima energía lumínica para la fotosíntesis. Los resultados de este trabajo también demuestran que el diámetro del tallo está asociado positivamente con algunos rasgos morfofisiológicos, en consecuencia se debe

considerar como criterios de selección diámetros grandes del tallo y ángulos foliares pequeños.

Según Scott y Dennis-Jones (1976), la posición de las aristas en la planta, facilita la interceptación de la radiación solar y a menudo su superficie es el equivalente a la de una hoja, por lo tanto se comprenderá la necesidad de obtener variedades aristadas y con una longitud y peso apropiados (Thorne, 1966; Johnson, Willmar y Moss, 1975; Shannon y Reid, 1976) Olugbeni *et al*, 1976).

Argüelles *et al* (1983), encontraron correlación significativa entre el rendimiento y la altura de la planta en cebada. Además existe una correlación significativa de la altura con la madurez y el número de entrenudos del raquis (Johnson, 1966).

La relación grano/paja es otro criterio importante para seleccionar variedades de alta producción (Yoshida, 1972). Un incremento en la producción de grano en cebada está usualmente ligado a una relación grano/paja o índice de cosecha, alto. (Argüelles, 1982; Marín y Perdomo, 1983).

Baker y Gebeyehou (1982), presentan resultados demostrando que la relación entre índice de cosecha, producción de grano y producción biológica puede variar de un nivel de productividad a otro. Bajo niveles bajos de productividad puede existir una relación positiva entre índice de cosecha y producción biológica mientras que bajo niveles altos de productividad la relación puede ser inversa.

3. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó durante el primer semestre de 1982 en el Centro Agropecuario Marengo, de la Universidad Nacional de Colombia, localizado en el Municipio de Mosquera (Cundinamarca).

Se utilizaron quince (15) líneas de cebada, la variedad Quibenrás y catorce (14) líneas que han demostrado características promisorias de rendimiento y presentan un buen grado de variabilidad respecto a las características a estudiar. La Tabla 1, relaciona el material utilizado en el estudio.

Para efectos de la siembra el lote fue surcado a 0.30 metros de distancia entre surcos, cada uno de ellos con una longitud de 5 metros. La densidad de siembra fue de 33 kilogramos de semilla por hectárea.

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar con cuatro replicaciones para cada tratamiento (variedad o línea). La unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos. El tamaño de la muestra estuvo constituido por cinco plantas por parcela, las cuales fueron seleccionadas al azar sobre los dos surcos centrales para evitar efectos de borde. Las plantas se roturaron y todos y cada uno de los parámetros determinados se tomaron por planta.

La lista de los parámetros determinados, sus unidades y el método de medida se presenta en la Tabla 2. Las medidas para las cinco plantas por parcela fueron tomadas en el período comprendido entre antesis y madurez comercial. Los datos para el cálculo del área de la hoja bandera, el área del pedúnculo, el área erectofila de la hoja bandera; el diámetro del tallo y el ángulo de la hoja bandera se midieron tres semanas después de antesis, mientras que la longitud de las aristas, la longitud y ancho de la espiga se determinaron cuatro semanas después de antesis. La longitud del tallo, el rendimiento por planta y los componentes del rendimiento se tomaron al momento de la cosecha.

Tabla 1. Genealogía y procedencia de las 15 líneas de cebada utilizadas en el ensayo.

Línea No.	Genealogía	Procedencia	
		No. variedad	Año
1	Quibenras		
2	CI 1237 x Surbatá II UN 37-2m-1m-1m	22	80-B
3	CI 1243 x Surbatá II UN 24-7m-3m-1m	24	80-B
4	CI 2376 x Surbatá II UN 31-6m-1m	30	80-B
5	CI 3908-1 x Mochaca ² II UN 12-4m-2m-1m	35	80-B
6	CI 3908-1 x Mochaca ² II UN 13-5m-2m-1m-1m	43	80-B
7	CI 9622 x Surbatá II UN 25-13m-1m-1m	61	80-B
8	Masal F ⁶ - Desconoc - 6m	92	80-B
9	Masal F ⁶ - Desconoc - 6m	93	80-B
10	(CI 3907 - 1 x 124) x (CI 2376 x Surb). II UN 95-20m-1m-1m	3-80A 1312	F ₅
11	(CI1243 ⁻² X Mochaca ⁻²) IV UN 29-29m-1m-1m	3-80A 1319	F ₅
12	CI 3908 ⁻²⁻¹ x Mochaca ⁻² IV UN 29-12m-1m-1m	3-80A 1321	F ₅
13	CI 3906 ⁻²⁻² x Mochaca ⁻² IV UN 30-5m-1m-1m	3-80A 1322	F ₅
14	CI 3908 ⁻²⁻² x Mochaca ² IV UN 31-8m-1m-1m	3-80A 1334	F ₅
15	STB 12 x Mochacá IV UN 49-1m-1m-1m	3-80A 1350	F ₅

Tabla 2. Características determinadas, unidades y métodos de medición.

Características	Unidad	Explicación
Rendimiento de grano y componentes primarios del rendimiento.		
- Rendimiento/planta	g/planta	- Promedio de producción de cinco plantas.
- Número de espigas/planta	—	- Promedio de cinco plantas.
- Peso de 1000 granos	g	- Promedio del peso 100 granos x 10
- Número de granos/espiga	—	- Promedio del número total de grano de espiga principal.
Características morfofisiológicas		
- Longitud de la hoja bandera	cm.	- Longitud de la lámina foliar.
- Ancho de la hoja bandera	cm.	- Se midió el máximo ancho.
- Area de la hoja bandera	cm ²	- Se obtuvo de multiplicar el largo x el ancho x 0.69 (Fowler y Rasmusson, 1969).
- Angulo de la hoja bandera	grados	- Se tomó con transportador, con respecto al pedúnculo.
- Longitud del tallo principal	cm.	- Se midió el tallo principal a partir del nudo de macollamiento hasta el collar de la espiga.
- Diámetro del tallo	mm.	- Con calibrador se midió el diámetro del tallo 5 cms. por encima del último nudo.
- Peso del tallo	g.	- Promedio del peso del tallo principal.
- Número de entrenudos	—	- Se tomó el número de entrenudos del tallo principal.

Continuación Tabla 2.

Características	Unidad	Explicación
- Relación grano/planta	—	- Se dividió el peso de los granos por el peso seco del tallo principal, incluyendo las hojas.
- Longitud del pedúnculo	cm.	- Se midió el largo desde el último nudo hasta el collar.
- Area del pedúnculo	cm ² .	- Se obtuvo de multiplicar el largo del pedúnculo por ancho del mismo, incluyendo la vaina de la hoja bandera por 3.1416 (Yap y Harvey 1971).
- Peso de la hoja bandera	g.	- Se pesó la hoja bandera del tallo principal.
- Densidad específica de la hoja	$\frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$	- Se determinó dividiendo el área por el peso de la hoja bandera (Hunt, 1978).
- Longitud de la espiga	cm.	- Se tomó de la base al ápice de la espiga principal.
- Diámetro de la espiga	cm.	- Con calibrador se midió el diámetro de la parte media de la espiga.
- Area de la espiga.	cm ²	- Se obtuvo al multiplicar largo x ancho x 3.1416.
- Angulo de la espiga	grados	- Con transportador, se midió el ángulo que forma la espiga con el raquis.
- Longitud de las aristas	cm.	- Se midieron las aristas de la parte media de la espiga.
- Longitud del área erectófila	cm.	- Se midió la longitud desde las aurículas hasta el punto donde la hoja bandera se inclina.
- Area erectófila de la hoja bandera.	cm ²	- Se obtuvo de multiplicar la longitud del área erectófila por el ancho de la hoja bandera.

Se realizó análisis de varianza para cada una de las 24 variables de expresión cuantitativa, con el objeto de conocer las respuestas del germoplasma utilizado a cada una de ellas y determinar la variabilidad genética presente en el material.

Se determinó la matriz de coeficientes de correlación lineal simple de las diferentes variables con el objetivo de precisar el grado de asociación existente entre ellas.

Tomando como base las variables que presentaron coeficientes de correlación significativas con el rendimiento, se realizó un estudio de regresión múltiple empleando el procedimiento "Stepwise" con el objeto de definir el modelo de regresión para el rendimiento que con el menor número de variables presentará el más alto coeficiente de determinación. Similar metodología se siguió para definir el rendimiento y los componentes primarios del mismo en función de las variables morfofisiológicas seleccionadas.

El modelo general de la ecuación de la regresión múltiple obtenida para explicar el rendimiento y sus componentes fue el siguiente:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_k X_k + E$$

Donde: Y = Rendimiento o componentes primarios del rendimiento.

b_0 = Intercepto

b_1 = Coeficiente de regresión de la K variables

$X_1 \dots X_k$ = Variables independientes

E = Residuo

Para el desarrollo de este análisis se utilizaron los servicios del Centro de Cálculo Electrónico de la Universidad Nacional. Se trabajó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) usando GLM (General Linear Model) para el análisis de regresión.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Análisis de Varianza

Se efectuó análisis de varianza para las diferentes variables estudiadas, presentándose diferencias altamente significativas y significativas para 19 de ellas. No hubo significancia para las variables densidad específicas. No hubo significancia para las variables densidad específica de la hoja, longitud del área erectófila, longitud de las aristas, ángulo de la espiga y diámetro del tallo principal.

4.2. Análisis de Correlación.

Los coeficientes de correlación simple que presentaron significancia al nivel del 1% y 5%, entre las veinticuatro (24) variables estudiadas, se muestran en la Tabla 3.

Bajo las condiciones de estudio se presentó una positiva y estrecha asociación estadística entre la producción de grano por planta con el número de macollas efectivas ($r = 0.78$), el peso de 1.000 granos ($r = 0.61$) y el número de granos por espiga ($r = 0.51$). El mayor valor de correlación se encontró para el número de macollas efectivas, variable que en la práctica

Tabla 3. Coeficientes de correlación simple entre las diferentes variedades estudiadas.

Y	X23	X22	X21	X20	X19	X18	X17	X16	X15	X14	X13	X12	X11	X10	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1
X1	-	-	-	-	-	0.41	0.46	-	-	-	0.42	-	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39	-
X2	-	-	-	-	-	0.79	0.50	-	-	-	0.26	-	-	-	0.31	0.59	0.29	0.45	0.44	-	-	0.31	-
X3	-	-	-	0.58	0.25	0.26	0.43	0.27	0.60	-	0.46	0.64	0.60	-	-	0.38	-	0.41	-	-	-	-	-
X4	-	0.30	-	0.39	-	0.32	0.41	0.43	0.26	0.50	-	0.45	0.44	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-	0.26
X5	0.27	0.53	-	0.38	-	0.48	0.40	-	-	-	0.50	0.26	-	-	0.38	0.59	-	-	-	-	-	-	-
X6	-	-	-	0.32	-	0.46	0.34	0.32	0.26	0.41	-	0.27	0.55	0.44	0.35	0.85	0.27	-	-	-	-	-	-
X7	-	-	-	-	-	0.38	0.32	-	0.25	-	0.35	-	-	-	-	0.33	-	-	-	-	-	-	-
X8	-	0.27	-	-	-	0.27	0.62	0.49	-	-	-	-	-	-	0.37	0.29	0.48	-	-	-	-	-	-
X9	-	0.36	-	-	-	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X10	-	-	0.27	-	0.57	0.44	-	0.55	0.30	0.71	-	0.65	0.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X11	-	-	-	0.43	-	-	-	0.53	0.28	0.92	-	0.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X12	-	-	-	0.39	-	-	0.27	0.67	-	0.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X13	-	-	-	-	-	0.52	0.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X14	-	-	-	0.47	-	-	-	0.64	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X15	-	-	-	-	-	-	-	0.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X17	0.32	0.28	0.25	-	-	0.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X18	0.28	0.29	0.29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X19	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X20	0.62	0.70	0.52	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X21	0.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X22	0.51	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X23	0.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Rendimiento (g/planta)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Longitud tallo principal	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Diámetro del tallo	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Peso del tallo	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Número de entrenudos	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Diámetro de la espiga	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Longitud de la espiga	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Angulo de la espiga	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Area de la espiga	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Longitud de aristas	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Peso de la hoja bandera	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
Longitud de la hoja bandera	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23

** Significancia al nivel del 5%

* Significancia al nivel del 1%

No significancia

corresponde al número de espigas fértiles y productoras de grano por planta. Resultados similares han sido reportados por Puri et al (1982), Arguelles et al (1982), Marín y Perdomo (1983), Williams y Hayes (1978), y Yap y Harvey (1971).

El rendimiento presentó un buen grado de asociación estadística ($r = 0.62$) positiva y altamente significativa con la relación grano/paja y además esta característica mostró una correlación altamente significativa con el peso de 1.000 granos ($r = 0.70$), y el número de granos por espiga ($r = 0.52$) y significativamente ($r = 0.25$) con el número de macollas efectivas.

La relación grano/paja básicamente es la misma proporción, producción económica/producción biológica o Índice de cosecha, originalmente conocido como el coeficiente de efectividad de formación de la parte económica con respecto a la producción total. De acuerdo a Nichiporovich (1954), la producción económica se puede expresar de la siguiente manera:

$$Y \text{ (económica)} = \text{Relación grano/paja} \times Y \text{ (biológica)}$$

Donde:

$$Y \text{ (económica)} = \text{Peso del grano}$$

$$Y \text{ (biológica)} = (\text{Peso seco del tallo} + \text{peso seco de hojas}).$$

Por tanto un incremento en el rendimiento se puede obtener aumentando la relación grano/paja y manteniendo constante el peso del follaje (tallo + hojas) o aumentando el peso del follaje y manteniendo constante el índice de cosecha o relación grano/paja.

Existe una gran variación en la relación grano/paja entre las diferentes variedades de cebada (Thorne, 1962, 1963), y las causas fisiológicas para explicar dicha variación no han sido bien comprendidas. Si la relación grano/paja se define como:

$$\text{RGP} = \frac{\text{Número de granos por planta} \times \text{peso del grano}}{\text{Peso seco del tallo más hojas}}$$

Se establece que el índice "RPG", es directamente proporcional al número de espigas por planta al número de granos por espiga y al peso del grano e inversamente proporcional al peso del tallo y de las hojas.

La relación grano/paja mostró una asociación negativa, altamente significativa y de valores intermedios con el peso del tallo ($r = 0.58$), el peso de la hoja bandera ($r = 0.57$), el área de la hoja bandera ($r = 0.47$) la longitud de la hoja bandera ($r = -0.34$), el ancho de la hoja bandera ($r = 0.39$), el número de entrenudos ($r = 0.39$) y el área erectófila de la hoja bandera ($r = 0.35$). La correlación encontrada con la longitud de la espiga ($r = -0.32$) fue negativa y significativa.

Las características mencionadas afectan directamente o indirectamente el denominador de la ecuación planteada y por lo tanto el índice "RGP" decrece por efecto de las mismas. El peso del tallo es el resultante de la longitud, diámetro, espesor y densidad de los tejidos que lo conforman. La longitud del mismo es determinada por el producto del número de entrenudos que se elongan y su largo, por lo tanto a un mayor número de entrenudos puede esperarse una menor relación grano/paja.

El coeficiente de correlación negativo entre la relación y la longitud de la espiga puede explicarse en base a efectos de competencia ya que durante el desarrollo de la espiga tanto esta última como el tallo respectivo están creciendo rápidamente y demandando grandes cantidades de carbohidratos. Si la longitud de la espiga se reduce y el número de granos se reduce, altas cantidades de carbohidratos se acumulan en el tallo y por lo tanto la relación grano/paja se reduce.

Asociaciones positivas y altamente significativas se encontraron entre la relación grano/paja y las características diámetro de la espiga ($r = 0.38$) y la densidad específica de la hoja bandera ($r = 0.34$). Estas características afectan el numerador de la ecuación y son causa de la variación en la proporción. Un mayor diámetro de la espiga puede explicar un mayor tamaño del grano y/o una mayor superficie fotosintética activa. El área específica de la hoja bandera es definida como la relación área foliar/peso del área foliar (Hunt, 1978). Se infiere que a una mayor área foliar y un peso constante, la relación será mayor y se tendrá una gran superficie de fotosíntesis por un lado y además la hoja será más delgada permitiendo una mayor penetración de la luz a las hojas inferiores por lo cual la relación grano/paja puede llegar a obtener valores más altos.

Para el peso de 1.000 granos se encontraron correlaciones altamente significativas, directas y positivas con los rasgos: Diámetro de la espiga ($r = 0.53$), área de la espiga ($r = 0.27$), longitud de aristas ($r = 0.36$) y número de granos por espiga ($r = 0.42$). Estas características morfofisiológicas hacen referencia en cebadas a superficies localizadas por encima del último nudo y fotosintéticamente activas, todas ellas en un mayor o menor grado participan del llenado del grano proporcionalmente a sus áreas de intercepción de luz y tasas de fijación de CO_2 . Los múltiples estudios efectuados tanto en trigo y cebada fundamentan la anterior afirmación.

El número de entrenudos se encontró asociado negativa y significativamente con el peso de 1.000 granos ($r = 0.30$), la formación de estas estructuras implican un gasto de los asimilados producidos por el tallo que pueden ir en detrimento de los aportes del mismo al llenado y peso final del grano.

El número de granos mostró una interrelación negativa y significativa con el peso de la hoja bandera. En el análisis del desarrollo de la cebada se encuentra que estos tejidos se suceden en una misma época presentándose una competencia entre planta por los carbohidratos de tipo estructural (Ledent, 1982).

El rendimiento de grano por planta y los componentes primarios: Peso de 1.000 granos y el número de granos por espiga mostraron asociaciones estadísticas directas y de magnitud intermedia con la longitud y el área del pedúnculo (Tabla 3). La relación es clara puesto que el área de esta estructura es fotosintéticamente activa durante el desarrollo de las espigas y flores y el período del llenado de grano. En cebada Yap y Harvey (1971), Williams y Hayes (1979), encontraron similares resultados.

Las correlaciones encontradas para la longitud del pedúnculo y el área del mismo con respecto a las otras características morfofisiológicas estudiadas fueron similares en una alta proporción (Tabla 3). Se determinó que estos dos parámetros estuvieron asociados positiva y significativamente con los siguientes rasgos: Longitud del tallo principal, diámetro del tallo principal, diámetro del tallo, diámetro, longitud, ángulo y área de la espiga y con el ancho de la hoja bandera. La correlación fue significativa y negativa con el número de entrenudos. Además el área del pedúnculo presentó asociación positiva y altamente significativa con su longitud ($r = 0.91$) y significativa con el peso del tallo ($r = 0.26$), y la longitud de aristas ($r = 0.26$). El área

del pedúnculo es la resultante de la longitud por el diámetro del mismo y comprendió tanto el área de la vaina de la hoja bandera como el área de ejerción. La estrecha correlación revelada con el diámetro del tallo y el largo del pedúnculo implica que las variaciones en el rendimiento pueden ser explicadas por una menor o mayor área de esta estructura la cual a su vez se ve afectada por las variaciones en los parámetros citados. Las correlaciones presentadas en el área del pedúnculo con las características longitud, diámetro y área de la espiga y ancho de la hoja bandera y de la espiga totalmente desarrolladas durante la fase de crecimiento o elongación del pedúnculo, contribuyendo con fotosintetizados a su estructuración. En cuanto al ángulo de la espiga, si el incremento del área del pedúnculo es debido esencialmente al largo del mismo, como parece serlo, la espiga se inclina presentando un mayor ángulo con la vertical.

La asociación negativa demostrada con el número de entrenudos ($r = 0.32$) se debe a que a un alto número de entrenudos se presenta un menor diámetro del pedúnculo y una menor longitud.

4.3. Análisis de Regresión.

En base a las correlaciones obtenidas para las diferentes variables con el rendimiento y los componentes primarios del rendimiento, se escogieron aquellas que presentaron una alta significancia, con el fin de incluirlas en el modelo de regresión. Después de un análisis de las diferentes alternativas, se seleccionaron los modelos de regresión más eficientes, es decir, aquellos que con el menor número de variables explicaron en mayor porcentaje el rendimiento y los componentes del mismo para las 15 líneas estudiadas.

4.3.1. El modelo de regresión para el rendimiento en función de los componentes primarios y de las características morfofisiológicas.

Se seleccionó el modelo que explica el rendimiento en base a las variables, número de macollas efectivas, número de granos por espiga y el peso de 1.000 granos. El coeficiente de determinación (R^2) para este modelo de regresión es de 0.97, lo que quiere decir, que las anteriores variables explican la variación en el rendimiento de un 97%. El modelo resultante es el siguiente:

$$Y = -68.6247 + 2.3065X_1 + 0.4618X_2 + 1.1025X_3 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

Y = Rendimiento (g/planta).

-68.6247 = Intercepto

X_1 = Número de macollas efectivas

X_2 = Número de granos por espiga

X_3 = Peso de 1.000 granos (g).

En la ecuación 1, un incremento en una unidad de las variables número de macollas, efectivas, número de granos por espiga y peso de 1.000 granos, determina un incremento de 2.30, 0.46 y 1.10 unidades de rendimiento de grano por planta, respectivamente.

Las variables que explican el modelo para rendimiento son similares a las encontradas en el modelo seleccionado por Marín y Perdomo (1983) el cual difiere en el valor del intercepto y de los coeficientes (B).

4.3.2 Modelo de regresión para el rendimiento de función de las características morfofisiológicas.

Se seleccionó el modelo que explica el rendimiento en base a las variables longitud del tallo principal, el peso del tallo y la relación grano/paja. El coeficiente de determinación (R^2) para este modelo de regresión es de 0.52, lo que sugiere decir que las anteriores variables explican el rendimiento en un 52%. El modelo resultante es el siguiente:

$$Y = -61.2789 + 36.0291X_1 + 9.0633X_2 + 37.6162X_3 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Y = Rendimiento (g/planta)

-61.2789 = Intercepto

X_1 = Longitud del tallo principal

X_2 = Peso del tallo principal

X_3 = Relación grano/paja

En el modelo anterior (Ec. 2) se puede apreciar que un incremento en una unidad para las variables X_1 , X_2 , X_3 determinan un aumento en el rendimiento de 36.02; 9.06 y 37.61 unidades respectivamente.

4.4.3 Modelo de regresión para el número de macollas efectivas (Y), en función de las características morfofisiológicas (X_n).

Se seleccionó el modelo que explica el número de macollas efectivas en base a las variables diámetro de la espiga, longitud del pedúnculo y la relación grano-paja. El coeficiente de determinación es de 0.24 lo que quiere decir, que las anteriores variables explican el número de macollas efectivas en un 24%. El modelo resultante es el siguiente:

$$Y = 16.0406 - 1.5120X_1 + 0.2868X_2 + 5.1330X_3 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

Y = Número de macollas efectivas

16.0406 = Intercepto

X_1 = Diámetro de la espiga (mm)

X_2 = Longitud del pedúnculo (cm)

X_3 = Relación grano/paja.

En el modelo anterior incrementos en una unidad en la longitud del pedúnculo y en la relación grano/paja representan un incremento de 0.28 y 15.13 unidades en el número de macollas efectivas.

4.3.4 Modelo de regresión para el número de granos por espiga (Y) en función de las características morfofisiológicas (X_n).

Se seleccionó el modelo que explica el número de granos por espiga en base a las variables: Peso del tallo, longitud de la espiga, la longitud de las aristas, el peso de la hoja bandera y la relación grano/paja. El coeficiente de determinación para este modelo de regresión es de 0.57, lo que quiere decir, que las variables mencionadas explican el número de grano por espiga en un 57%. El modelo resultante es el siguiente:

$$Y = 34.059 + 8.0137X_1 + 1.3405X_2 - 0.7852X_3 - 55.5609X_4 + 16.1063X_5 \quad \text{Ec. 4.}$$

Donde:

Y = Número de granos por espiga.

34.0599 = Intercepto

X_1 = Peso del tallo (g)

X_2 = Longitud de la espiga (cm)

X_3 = Longitud de las aristas (cm)

X_4 = Peso de la hoja bandera (g)

X_5 = Relación grano/paja

En el modelo anterior, al incrementar en una unidad las variables X_1 , X_2 y X_5 , se produce un incremento en el número de granos por espiga de una magnitud de 8.013, 1.34 y 16.10 unidades, respectivamente. Mientras que un aumento en una unidad de la longitud de aristas y el peso de la hoja bandera determina una caída de 0.7 y 55.56 unidades respectivamente en la variable mencionada.

4.3.5 Modelo de regresión para el peso de 1.000 granos (Y), las características morfofisiológicas (X_n).

Se seleccionó el modelo que explica el peso de 1.000 granos en base a las variables peso del tallo, diámetro de la espiga y la relación grano/paja. El coeficiente de determinación (R^2) para este modelo de regresión es de 0.81, lo que quiere decir, que las anteriores variables explican el peso de 1.000 granos en un 81%. El modelo resultante es el siguiente:

$$Y = -18.4199 + 9.2231X_1 + 0.9730X_2 + 20.75X_3 \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Y = Peso de 1.000 granos (g)

-18.4188 = Intercepto

X_1 = Peso del tallo (g)

X_2 = Diámetro de la espiga (cm)

X_3 = Relación grano/paja

En el modelo citado (Ec. 5), un incremento en una unidad de las variables peso del tallo, diámetro de la espiga y la relación grano/paja implica un aumento en el peso de 1.000 granos en una magnitud de 9.22, 0.97, 20, 75, unidades por cada una de ellas.

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente ensayo se pueden hacer las siguientes conclusiones:

5.1 Los componentes primarios de rendimiento número de espigas por planta, peso de 1.000 granos y número de granos por espiga presentaron una significativa, positiva y estrecha correlación con el rendimiento de grano por planta, lo que permitió establecer un modelo de regresión que explica el rendimiento en un 97% en función de las variables citadas.

5.2. El rendimiento de grano por planta presentó una significativa y positiva asociación estadística con las características: Relación grano/paja longitud y área del pedúnculo, mientras que el modelo de regresión preferido lo define en un 52%, en base a la longitud y peso del tallo y a la relación grano/paja.

5.3. El número de macollas efectivas mostró solamente una correlación significativa y positiva pero de bajo valor con la relación grano/paja. En el modelo de regresión elegido, este componente de rendimiento, guarda una proporcionalidad directa, positiva y de baja magnitud con las variables longitud del pedúnculo y la relación grano/paja mientras que la proporcionalidad es negativa con la variable diámetro de la espiga.

5.4 Las características morfofisiológicas: Longitud del pedúnculo, área del pedúnculo y la relación grano/paja mostraron correlaciones significativas y positivas con el número de granos por espiga mientras que el peso de la hoja bandera presentó una correlación significativa negativa y de baja magnitud. En el modelo de regresión escogido, el número de granos por espiga se ve afectado especialmente por las características peso de la hoja bandera y la relación grano/paja que presentan coeficientes (B) de -55.56 y 16.10 respectivamente.

5.5 El peso de 1.000 granos presentó correlaciones significativas y positivas en la relación grano/paja y tejidos situados por encima del último nudo. En el modelo de regresión seleccionado las variables de mayor importancia son en su orden la relación grano/paja y el peso del tallo.

5.6 La relación grano/paja que indica la distribución de los fotosintetizados en la planta presentó correlaciones significativas y positivas tanto en el rendimiento como en los tres componentes del mismo. Este grupo de correlación y su participación en cuatro de los cinco modelos de regresión seleccionados corroboran la importancia e interés de este índice como criterio de selección en los programas de mejoramiento para la obtención de variedades de altos rendimientos.

5.7 Las características morfofisiológicas longitud y área del pedúnculo presentaron correlaciones positivas y significativas con el rendimiento, el peso de 1.000 granos y el número de granos por espiga lo que nos indica la importancia de esta estructura en la elaboración de fotosintetizados que participan en la producción económica.

5.8 Los resultados indican que la mayoría de las características morfofisiológicas estudiadas no afectan directamente el rendimiento pero sí presentan correlaciones con el peso de 1.000 granos, la relación grano/paja, la longitud y el área del pedúnculo, variables ligadas estrechamente con la producción final del grano.

5.9 Se infiere que el número de espigas/planta y el número de granos/espiga al determinarse en época anteriores o similares al desarrollo de las estructuras estudiadas presentaron un bajo número de correlaciones mientras que el peso de 1.000 granos que presente el grado de llenado de grano presentó correlaciones de la mayoría de los tejidos situados por encima del último nudo y que son fotosintéticamente activos.

5.10 De acuerdo a los niveles de productividad estudiados se infiere que el ideotipo de la planta de cebada para dar altos rendimientos en una comunidad sería aquella que tuviera un tallo fuerte y semicorto; hojas pequeñas erectas en poco número; pedúnculo largo y fuerte, espiga larga, densa con aristas largas.

5.11 El problema de las relaciones de las características morfofisiológicas directamente con la producción debe ser cuidadosamente estudiado puesto que pueden ser debidas a una interdependencia en el desarrollo, ligamiento genético, pleiotropía, etc. y no necesariamente a relaciones fuente - vertadero.

6. RESUMEN

El presente estudio se efectuó durante el primer semestre de 1982, en el Centro Agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia.

El objetivo fue el determinar las características morfofisiológicas asociadas con el rendimiento y los componentes de rendimiento en quince variedades de cebada, el grado de correlación existente entre estos caracteres y el establecer modelos de regresión múltiples que permitan definir el rendimiento y los componentes primarios en función de dichas variables.

Las variables utilizadas fueron: La variedad comercial Quibénras y Catorce líneas desarrolladas en el Programa de Fitomejoramiento de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro replicaciones.

Para una muestra de cinco plantas por parcela, las cuales fueron tomadas al azar y debidamente roturadas se midieron los siguientes parámetros: rendimiento de grano por planta, número de macollas efectivas, número de granos por espiga, peso de 1.000 granos, longitud, peso y diámetro del tallo principal; longitud, ancho, ángulo, peso y área de la lámina de la hoja bandera; longitud, diámetro, ángulo y área de la espiga; longitud y área erectófila de la hoja bandera; longitud, diámetro y área del pedúnculo; relación grano/paja, densidad específica de la hoja y la longitud de las aristas.

Los resultados obtenidos indican que el rendimiento final de grano por planta es definido por sus componentes primarios en un 97%, en los niveles de productividad estudiados. Tanto el rendimiento como el número de granos por espiga y el peso de 1.000 granos presentan

correlaciones significativas y positivas con la relación grano/paja, la longitud y área del pedúnculo, ratificándose la importancia del índice y área mencionadas como criterios de selección en los programas de mejoramiento en cebada.

Las pocas correlaciones encontradas para el número de granos por espiga y el número de macollas efectivas permiten inferir que estos componentes de rendimiento no son afectados por las características medidas por que se suceden en eventos anteriores, el peso de 1.000 granos que representa la eficacia del llenado de grano presentó asociaciones con varias de las estructuras situadas por encima del último nudo de la planta, corroborando lo establecido en diversos estudios.

Todas las asociaciones del rendimiento por planta con las características morfofisiológicas fueron bajas y esto limita el valor práctico de los resultados. Como la relación grano/paja mostró asociaciones claras con los caracteres morfofisiológicos, estudios de esta clase son de gran utilidad cuando el índice grano/paja es la principal causa de la variación en el rendimiento por planta.

Las relaciones de los rasgos morfofisiológicos con el rendimiento final necesita mayor y cuidadosa investigación debido a que estas interrelaciones pueden ser debidas a interdependencias en el desarrollo, a ligamientos de tipo genético, a pleiotropía, etc., y no necesariamente a relaciones de fuente-vertedero.

7. SUMMARY

This work place during the first 1982 semester, at the "Centro Agropecuario Marengo" of the Universidad Nacional de Colombia. The objective was determine the morphophysiological characteristes associated with yield and yield components of 15 barley varieties. It was also an objective to find the degree of correlation among those characters and to establish the appropriate multiple regression model; so as to define yield and its components as a function of such variables.

The used variables were: Commercial variety Quibenras and fourteen advanced lines developed by the Plant Breeding Program of the Agronomy Faculty, National University. A randomized block design was used with four replications.

The following parameters were taken in a 5 plant sample per plot that had been previously tagged in a randomized way: grain yield per plant; effective tillers per plant; length, width, angle, weight and area of the flag leaf blade; length, diameter, angle and area of head; length, and erectophile area of the flag leaf; length, diameter and area of the peduncle; grain/stover ratio, specific density of the leaf, and own length.

The results found in this work, indicate that final yield per plant is 97 porcen defined per the primary components here studied, Yield per plant, as well as number of grains per head and 1.000 grain weight gave positive and significate correlations with the grain stover ratio and length and peduncle area. The obtained results ratify the importance of the latter mentioned parameters as selection criteria in barley breeding programs.

The few correlations found for head grain number and effective tillers allow to infer that these yield components are not affected by the parameters here studied, probably because they are set by early physiological events. Weight of 1.000 grains —wich represents grain filling efficiency— was statistically associated with several plant structures located above the top plant nade. This find confirms earlier reports.

Statistical associations between yield per plant and morphophysiological characteristics are low. This fact limits the practical value of the report results. Since the grain/stover ratio rendered clear associations with morphophysiological parameters, these studies show practical application, specially when the grain/stover ratio is the main variation component in yield per plant.

The association among morphophysiological characters and final yield need more and careful investigation since these interrelations might arise from genetical linkage, pleiotropia, development interdependence etc. and no necessarily to sink —source relationship.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ARGUELLES, J. H., CARDENAS, N.; GUEVARA, W. Caracterización fisiológica y evaluación agronómica de un germoplasma de cebada resistente a la roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) para selección de progenitores. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. 1982. 160p. (Tesis Ing. Agr.).
2. DONALD, C. M. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica* (Holanda) v. 17 No. 2, p. 305-403. 1968.
3. FOWLER, C. W.; RASMUSSEN, D. O. Leaf area relationships and inheritance in barley. *Crop Science* (Estados Unidos) v. 9 No. 6, p. 729-731. 1969.
4. GRAFIUS, J. E. A geometry for plant breeding. *Crop Science* (Estados Unidos) v. 4 No. 3, p. 241-246. 1964.
5. HSU, P.; WALTON, P.D. Relationships between yield components and structures above flag leaf node in spring wheat. *Crop Science* (Estados Unidos) v. 11, No. 2, p. 190-193. 1971.
6. HUNT, R. Plant growth analysis. London, Eduard Arnold, 1978, 67 p.
7. JOHNSON, R. R.; WILLMER, O. M.; MOSS, D. N. Role of awns in photosynthesis, respiration and transpiration of barley spikes. *Crop Science* (Estados Unidos) v. 15, No. 2, p. 217-221. 1975.
8. JOHNSON, V. A. Inheritance of plant height, yield of grain, and other plant and seed characteristics in a cross of hard winter wheat (*Triticum aestivum* L.) *Crop Science* (Estados Unidos) v. 6 No. 4, p. 336-338. 1966.
9. _____; SCHMIDT, J. W.; MEKASHA, W. Comparison of yield components and agronomic characteristic of four winter wheat varieties differing in plant height. *Agronomy Journal* (Estados Unidos) v. 58 No. 4, p. 438-411. 1966.
10. LEDENT, J. F. Morphology and yield in winter wheat grown in high yielding conditions. *Crop Science* (Estados Unidos) v. 22 No. 6, p. 1115-1182.
11. MARIN, A.; PERDOMO, R. Caracterización morfofisiológica y agronómica de 20 líneas de cebada (*Hordeum vulgare* L.). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 1982. 126 p. (Tesis Ing. Agr.).

12. OLUGBENI, L. B.; AUSTIN, R. B.; BINGHAM, J. Effects of awns on the photosynthesis and yield of wheat, *Triticum aestivum*. *Annals of Applied Biology (Inglaterra)*. v. 84 No.2, p. 241-250. 1976.
13. PURI, Y. P.; QUALSET, C. O.; WILLIAMS, W. A. Evaluation of yield components as selection criteria in barley breeding. *Crop Science (Estados Unidos)* v. 22 No. 5, p. 927-931. 1982.
14. SCOTT, R. K.; DENNIS-JONES, R. The physiological background of barley. *Journal of the National Institute of Agricultural Botany (Inglaterra)* v. 14 No. 1, p. 182-187. 1976.
15. SHANNON, J. G.; REID, D. A. Awned vs. awnless isogenic winter barley grown at three environments. *Crop Science (Estados Unidos)* v. 16 No. 3, p. 347-349. 1976.
16. TANNER, J. W.; GARDENER, C. J.; STOSKOPF, N. O.; REINBERGS, E. Some observations on up-right leaf type small grain. *Canadian Journal of Science* v. 46 No. 5, p. 690. 1966.
17. THORNE, G. N. Varietal differences in photosynthesis of ears and leaves of barley. *Annals of Botany (Inglaterra)* v. 29 No. 105, p. 155-174. 1963.
18. _____ . Physiological aspects of grain yield in cereals. **En:** Milthorpe, FIL.; Ivins, J. D. *The growth of cereals and grasses*. London, Butterworths, 1966. p. 88-105.
19. WILLIAMS, R. H.; HAYES, V. D. Relationships between photosynthetic area and other growth attributes with grain yield in 6 and 2-row barley genotypes. *Annals of Applied Biology (Inglaterra)* v. 91 No. 3, p. 391-395. 1979.
20. YAP, T. C.; HARVEY, V. L. Inheritance of yield components and morphophysiological traits in barley, *Hordeum vulgare* L. *Crop Science (Estados Unidos)* v. 12 No. 3, p. 283-286. 1971.
21. YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. *Annual Review of Plant Physiology (Estados Unidos)* v. 23, p. 437-464. 1972.