

Análisis digital de descriptores de color en trigo

Analyzing digital color descriptors in wheat

Salomón N¹, V Misller¹, C Delrieux², R Miranda³

Resumen. El color es uno de los factores en la estimación de la calidad en muchos productos de la agricultura y alimentos. En la actualidad, la evaluación de color depende de juicios de expertos humanos. Éstos son subjetivos e inevitablemente afectados por las condiciones físicas, psicofisiológicas y por elementos ambientales. Para proporcionar objetividad y coherencia a la medición y a la expresión cuantitativa del color se requiere contar con instrumental adecuado. Sería de gran utilidad contar con herramientas que permitan un acercamiento a la vez práctico y preciso al tema de la evaluación cromática de productos para consumo humano. En este trabajo se propone una metodología orientada hacia dicho propósito y al análisis de la influencia ambiental en este carácter en dos estaciones de crecimiento consecutivas en el cultivo de trigo. Se emplearon 18 cultivares, los cuales se muestrearon en dos momentos del ciclo del cultivo. Como primer examen se usó un espectrofotómetro y una cámara digital para el análisis de color en el estado fenológico de macollaje. Se encontró correlación entre ambas metodologías, lo cual haría más práctico el trabajo del mejorador al momento de la toma de datos. Se continuó el estudio de la Interacción Genotipo Ambiente (IGA) solo con cámara digital. El estado fenológico de macollaje no evidenció una marcada IGA. Por el contrario, en el estado de madurez fisiológica se encontró una apreciable IGA.

Palabras clave: Trigo; Color; Imagen digital; Espectrofotómetro; Interacción genotipo ambiente.

Abstract. Color is one of the factors used in quality estimation in many agricultural and food products. Currently, the evaluation of color depends on judgments made by human experts. These are subjective and inevitably affected by physical, physiological and environmental conditions. Suitable instrumental is required to provide objectivity and coherence to color measurements and quantitative expressions. It would be very useful to have tools that allow both practical and precise approaches to chromatic evaluation of products for human consumption. This work suggests a methodology which might contribute to solve that constraint and the analysis of environmental influences on this character in two consecutive wheat growing seasons. This research used 18 cultivars, which were sampled in two crop growth stages. On the first part of this study, a spectrophotometer and a digital camera were used for the analysis of color at the phenological state of tillering. Data analysis showed a correlation between both study methodologies, which would make more practical the work of breeders during data collection. The second part of the study of the genotype-environment interaction (GEI) continued using only a digital camera. The phenological state of tillering did not evidence a marked GEI. On the other hand, an appreciable GEI was found at physiological ripeness.

Keywords: Wheat; Color; Digital image; Spectrophotometer; Genotype-environment interaction.

¹Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. San Andrés 800. Altos de Palihue. Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.

²Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional del Sur Av. Alem 1253. Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.

³Asociación de Cooperativas Argentinas. Saavedra 636. Bahía Blanca. Buenos Aires. Argentina.

Address Correspondence to: Ing. Agr. Mg. Nelly Salomón, Fax 054-0291-4595127; Phone 054-0291-4595126; e-mail: nsalomon@ciba.edu.ar
Recibido / Received 18.XI.2014. Aceptado / Accepted 21.XI.2014.

INTRODUCCIÓN

El color es uno de los factores en la evaluación de la calidad en muchos productos de la agricultura y alimentos. Es ampliamente utilizado en la evaluación de la madurez, frescura, condición nutricional y factores de crecimiento. En la actualidad, la evaluación de color depende de juicios de expertos humanos. Éstos son subjetivos e inevitablemente afectados por las condiciones físicas, psicofisiológicas, y por elementos ambientales. Para proporcionar objetividad y coherencia a la medición y a la expresión cuantitativa del color se requiere contar con instrumental adecuado (Francis, 1987; Pedreschi et al., 2006).

Los métodos disponibles para la medición del color se pueden clasificar en tres grandes tipos: sistemas visuales, colorimetría triestímulo y espectrofotometría. Los *sistemas visuales* implican la comparación con colores de referencia bajo condiciones de iluminación controladas. Los *instrumentos triestímulo* utilizan tres filtros para evaluar las componentes rojo, verde y azul presentes en la muestra. El *método espectrofotométrico* mide el color mediante una reflexión o transmisión del espectro. A pesar de la variedad de métodos para la medición del color, muchos instrumentos no son convenientes para el uso específico en la evaluación de la calidad de productos agrícolas y alimentos, ya que sus resultados son difíciles de interpretar. Esto se debe a que el color es generalmente expresado de modos diferentes y en diferentes modelos, los cuales no siempre son fáciles de interpretar desde la percepción subjetiva humana (Murray, 1952; Trouve, 1991).

Las investigaciones relacionadas con el color basadas en la técnica de procesamiento de imágenes han sido reportadas por varios autores. La representación digital de imágenes utiliza los valores triestímulo para expresar el color en el *espacio cromático* RGB. Existen otros espacios cromáticos. Uno de los primeros en surgir, para usos científicos y tecnológicos, es el espacio CIE XYZ (Commission Internationale d'Éclairage, 1931), donde X, Y, y Z representan las funciones normalizadas de sensibilidad de los receptores retinianos. Luego se propuso el espacio CIE $L^*a^*b^*$ (1976), que intenta equiparar la distancia perceptual humana entre estímulos con la distancia métrica, siendo L^* la luminancia no lineal, y a^* y b^* dos ejes de cromaticidades independientes (rojo vs. verde y amarillo vs. azul, respectivamente). En el inicio de la transmisión de señal de televisión a color, y para optimizar el uso del ancho de banda del canal, se buscó un espacio cromático que reflejara la capacidad humana para discernir diferencias espaciales. Es así que surgió el espacio YIQ, donde Y representa la luminancia lineal, I el eje de cromaticidad naranja vs. azul (donde el ojo humano es más sensible a cambios de cromaticidad), y Q un eje de cromaticidad ortogonal a I (verde vs. magenta, donde el ojo humano es menos sensible a cambios de cromaticidad).

Por otro lado, y dada la importancia industrial de un adecuado registro, evaluación y reproducción cromática, surgie-

ron sistemas de organización de colores, como el de Munsell (<http://www.xrite.com>, 2011), que pueden ser utilizados en equipos que evalúan el color (Zhang et al, 1998). El sistema de Munsell, y otros similares, se basa en una organización del espacio cromático que utiliza coordenadas no vectoriales, similares a las coordenadas perceptuales HSV (Hue, Saturation, Value, que podrían traducirse como “coloratura”, “pureza”, e “intensidad”, respectivamente). Al utilizar un espacio que se basa en la percepción subjetiva, resulta más sencillo para un usuario ubicarse, y se proporciona una nomenclatura de fácil manejo, donde la sensación de color se coordina directamente con la numeración generada por el sistema (Schwarz et al., 1987).

Cada uno de los modelos (espacios cromáticos vectoriales basados en atributos físicos y fisiológicos, o bien espacios cromáticos no vectoriales basados en atributos perceptuales) posee sus propias ventajas y desventajas, y es adecuado para satisfacer diferentes requerimientos (Foley et al., 1990). En nuestro contexto, donde se requiere la apreciación del color para determinar la calidad de un producto para consumo humano, el uso de instrumental de medición proveerá los datos cromáticos en alguno de los espacios vectoriales XYZ, RGB, o $L^*a^*b^*$, cuya interpretación subjetiva es muy difícil y requiere entrenamiento y experiencia específicos. Por otro lado, la evaluación perceptual utilizando parámetros en sistemas como el de Munsell o similares se realiza comparando el color medido con un conjunto de placas de color estándar, lo cual es impráctico, poco preciso, y sujeto a subjetividades.

En un contexto donde el control de calidad y trazabilidad de los procesos productivos se va tornando cada vez más exigente, sería de gran utilidad contar con herramientas que permitan un acercamiento a la vez práctico y preciso al tema de la evaluación cromática de productos para consumo humano. En este trabajo se propone una metodología orientada hacia dicho propósito. La misma se basa en la obtención de imágenes digitales de la muestra, utilizando un blanco de referencia para despejar la influencia de la iluminación ambiente, para luego normalizar el color de la muestra dentro de los espacios cromáticos vectoriales y no vectoriales más comúnmente utilizados. Para ello se procedió a la comparación de dos metodologías para la medición del color en cultivares de trigo en diferentes estados de desarrollo a campo y la influencia ambiental en este carácter en dos estaciones de crecimiento consecutivas.

El Anexo II de la Ley de Semillas y Creaciones Fitogenéticas 20247 establece que al inscribir un cultivar para su difusión comercial, el mismo debe ser diferenciable en por lo menos un carácter. Este requisito se cumplimenta con el registro por parte del obtentor de 84 descriptores morfológicos, fisiológicos y sanitarios. Si bien la legislación sólo acepta las técnicas moleculares como descriptores complementarios, éstas pueden contribuir efectivamente a la identificación y diferenciación (Salomón et al., 2000; Salomón et al., 2008). En Argentina la inscripción de nuevos cultivares se ha tornado

difícil debido a la escasa variabilidad de muchos caracteres utilizados como descriptores, a la falta de precisión en la definición de algunos de ellos y a la subjetividad de otros como es el caso del color de tejido vegetal en diferentes estados fenológicos de la parcela a evaluar (Salomón et al., 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

Como primer paso, se procedió a evaluar la precisión cromática de la toma de imágenes por medio de cámaras digitales. En los años 2011 y 2012 se muestrearon 18 cultivares de trigo: ACA 201, ACA 303, ACA 315, ACA 320, BIOINTA 3004, BIOINTA 3005, TAITA, SY110, SY100, SY200, KLEIN GLADIADOR*, KLEIN GUERRERO*, KLEIN YARARA, Baguette 17, Baguette 18, Baguette 701P, SRM NOGAL, SRM 2333. Los mismos se sembraron en parcelas de siete surcos de 5 metros de largo en el Campo Experimental del Criadero de Trigo de la Asociación de Cooperativas Argentinas (A.C.A.), Cabildo. Los muestreos fueron realizados en los estados fenológicos que figuran en la Tabla 1 donde se especifica que descriptor se analizó, que opciones de color

ofrece el Anexo II de la Ley de semillas y que valor en la escala Zadok le corresponde.

En el estado de bota mencionado en la Tabla 1 (color de la lámina de la hoja), se extrajeron cinco plantas al azar de cada parcela tanto en la campaña 2011 como en la 2012, a las cuales se le midió el color de la lámina con un espectrofotómetro de mesa marca EyeOne Pro Spectroradiometer, modelo 2007. Este equipo mide el color en tres espacios cromáticos: $L^*a^*b^*$, LCH y XYZ. Por la calidad y precisión de este equipo, se considera que sus mediciones constituyen un *ground truth* adecuado. Una vez obtenidos estos datos se transformaron los valores de $L^*a^*b^*$ a RGB utilizando la transformación entre espacios cromáticos provista en el sitio web <http://www.easyrgb.com>

En todos los estados fenológicos citados en la Tabla 1 se tomó una foto a cada parcela con cámara digital KODAK EasyShare C340 (lente KODAK RETINAR) obteniendo imágenes en formato JPG (espacio cromático RGB). Junto a cada parcela, se incluyó en la toma fotográfica una superficie plana de color blanco para evaluar consistentemente la temperatura cromática, la cual se utilizó como referencia para corregir la incidencia de la iluminación en forma independiente en cada una de las fotos (Fig. 1a). En cada foto se aisló el área correspondiente a cada cultivar a analizar, evitando que el resto de la toma fotográfica interfiriera en el análisis (Fig. 1b). Se desarrolló un programa de procesamiento de imágenes que realiza tres tareas: (i) segmenta solamente las partes de las fotos que corresponden a tejido vegetal (Fig. 1c); (ii) con el blanco de referencia, calibra la colorimetría de la imagen a la equivalente bajo un iluminante estándar D65 (Fig. 1d); y finalmente (iii) evalúa la colorimetría media del tejido vegetal en la imagen con la iluminación corregida. Dichos datos, en cada foto y en el espacio cromático RGB (D65) fueron luego transformados a $L^*a^*b^*$, XYZ, e YIQ, mediante la transformación provista en el sitio web <http://www.easyrgb.com>. El espacio cromático YIQ es ideal para las evaluaciones colorimétricas, dado que aísla la luminancia (Y) de la cromaticidad (IQ) y por lo tanto esta última es independiente de las condiciones específicas de iluminación.

Tabla 1. Descriptores solicitados en el Anexo II y su escala Zadok asignada.

Table 1. Required descriptors in the Anexo II and their Zadok scale assigned.

Descriptor	Anexo II	Escala Zadok
HOJA		
Color	Verde claro Verde grisáceo Verde oscuro	43 - 45 (en bota)
ESPIGA		
Color	Blanco amarillento Amarillo Castaño claro Castaño oscuro	92 (a la madurez)

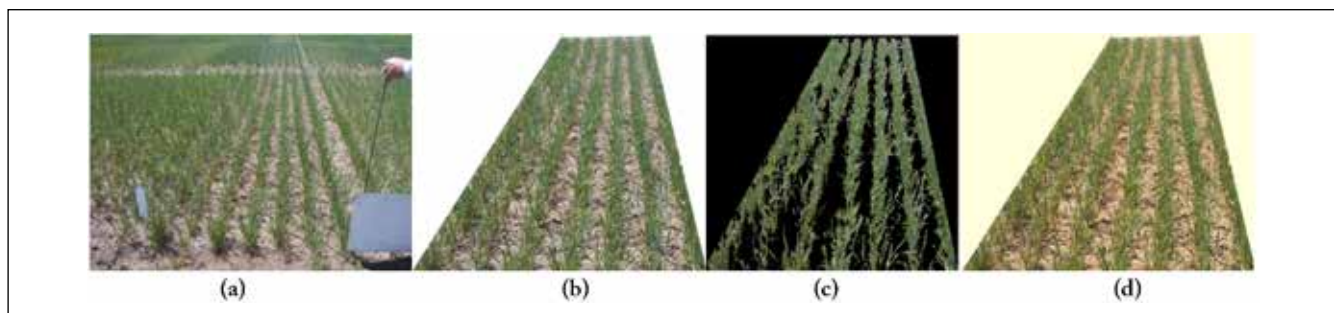


Fig. 1. Ejemplo de edición de fotos con el cultivar ACA 303. (a) Imagen original del cultivar a medir junto con el blanco de referencia. (b) Recorte de la parcela a medir. (c) Tejido vegetal segmentado. (d) Parcela con la iluminación corregida a D65.

Fig. 1. Photo edition example for cultivar ACA 303. (a) Original picture measured in contrast with the white color referent. (b) Plot trim to be measured. (c) Segmented vegetal tissue. (d) Plot corrected by Daylight D65 Illuminant.

Solo en el estado de bota se calculó para ambas campañas el error medio entre los métodos colorimétricos utilizados. Para ello se trabajó únicamente con la cromaticidad (ejes IQ). Se realizó un análisis de covarianza del error entre las variables antes mencionadas. Estos resultados fueron incorporados en un gráfico de dispersión en el subespacio IQ para su mejor visualización (Fig. 2 y 3). En el resto de los estados

fenológicos solo se analizaron las fotos tomadas con cámara ya que fue imposible hacer lecturas con el espectrofotómetro por el tamaño del lector del equipo. Puesto que, la comparación de las lecturas colorimétricas entre el espectrofotómetro y la cámara digital más el procesamiento mostró una correlación satisfactoria, se consideró que estos últimos valores son suficientemente confiables.

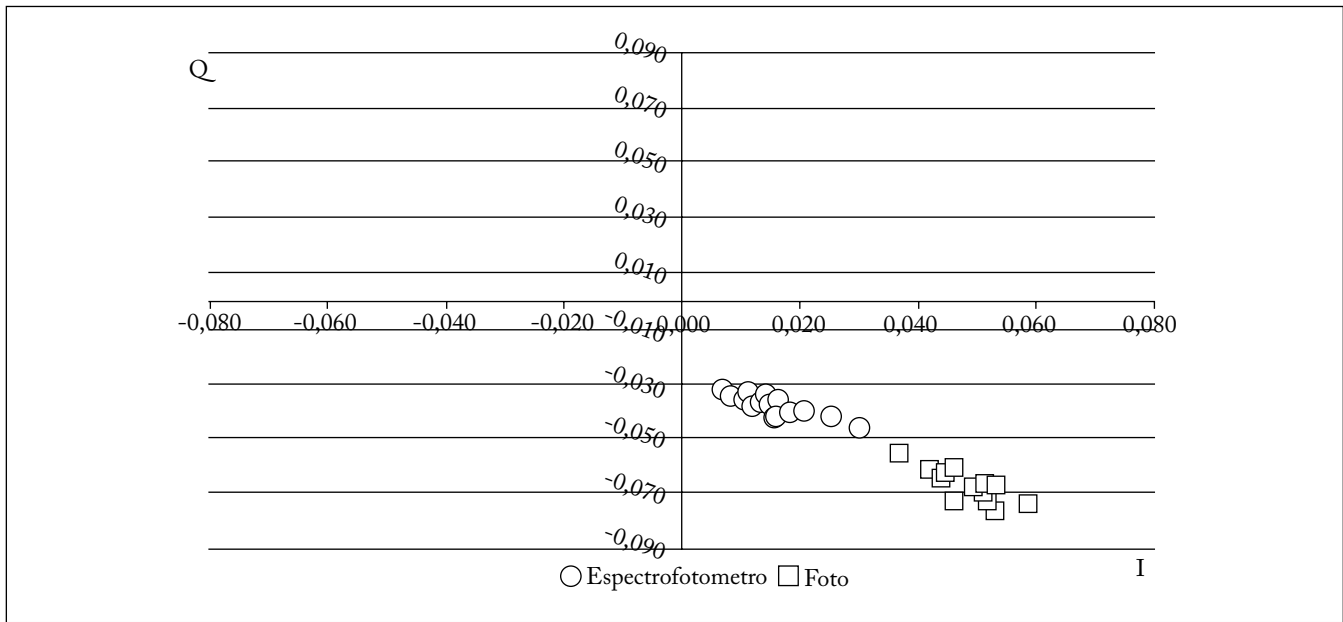


Fig. 2. Variables IQ obtenidas con Espectrofotómetro y Cámara Digital de la lámina de la hoja. Estación de crecimiento 2011.
 Fig. 2. Leaf blade IQ variables acquired through Spectrophotometer and Digital Camera. Growing season 2011.

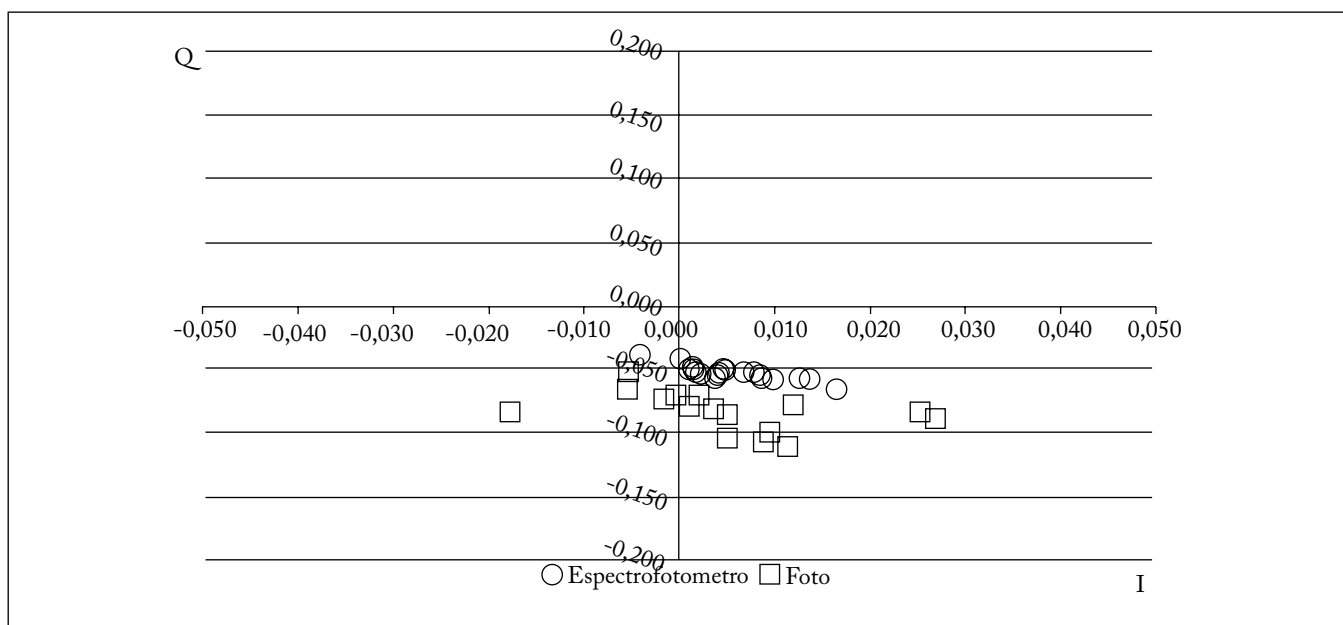


Fig. 3. Variables IQ obtenidas con Espectrofotómetro y Cámara Digital de la lámina de la hoja. Estación de crecimiento 2012.
 Fig. 3. Leaf blade IQ variables acquired through Spectrophotometer and Digital Camera. Growing season 2012.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del color en la hoja. En ambas estaciones de crecimiento se calculó el error medio entre los métodos colorimétricos utilizados, y se realizó un análisis de covarianza del error entre variables. En la campaña 2011 las tomas fueron realizadas sin tener en cuenta un blanco de

referencia de buena calidad que permitiese una adecuada corrección de la temperatura cromática. Esto determinó un error sistemático hacia la zona del Q negativo (las fotografías se ven levemente viradas al magenta), lo cual es consistente con las fotografías obtenidas con cielo nublado (alta temperatura cromática). Por el contrario, en la campaña 2012, se realizaron los recaudos metodológicos, y la

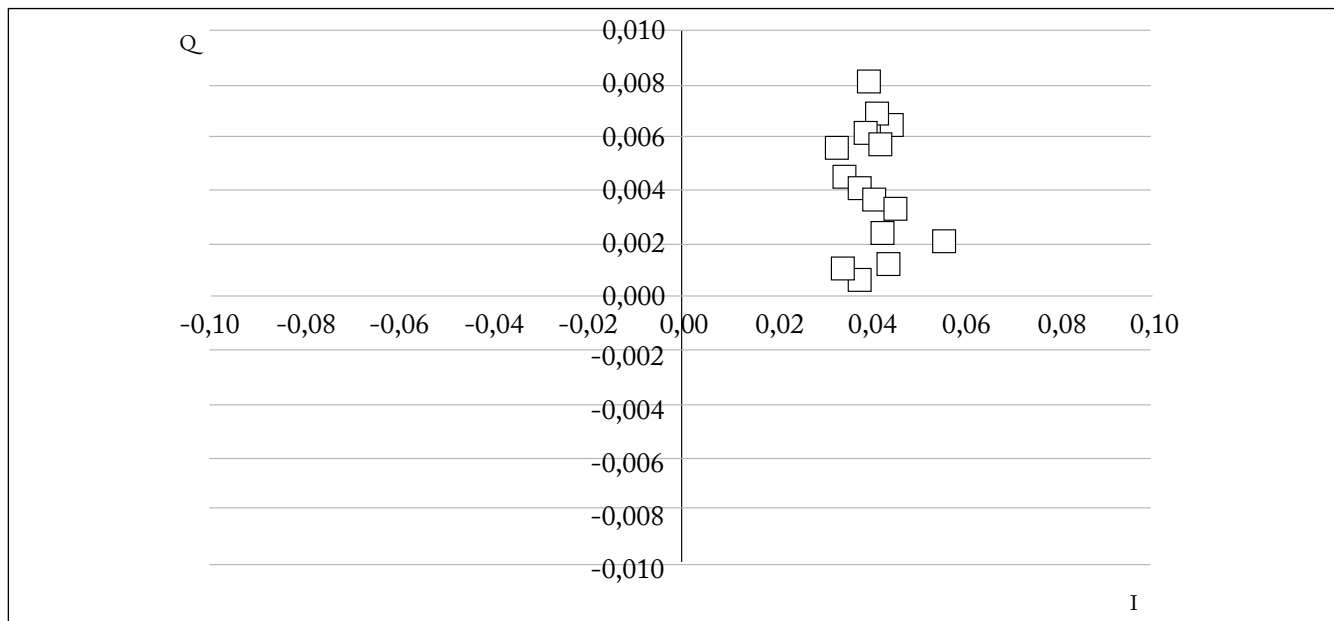


Fig. 4. Variables IQ obtenidas con Cámara Digital en madurez fisiológica. Estación de crecimiento 2011.
 Fig.4. IQ variables acquired using a Digital Camera at the physiological ripeness stage. Growing season 2011.

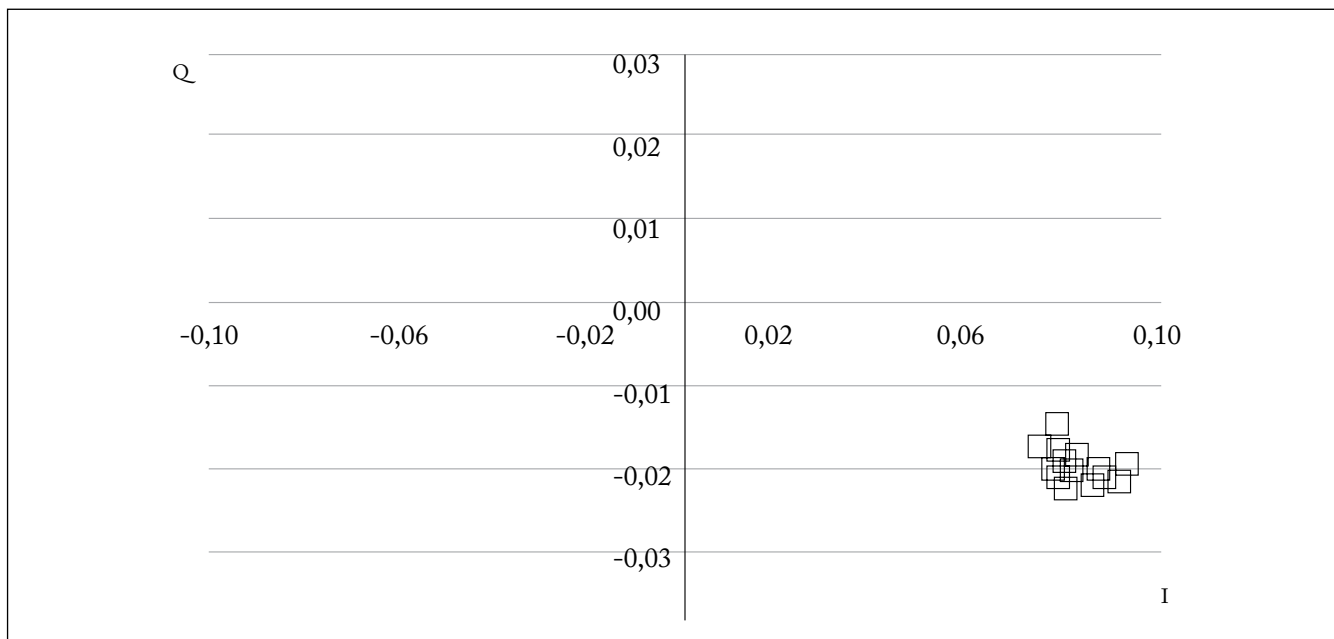


Fig. 5. Variables IQ obtenidas con Cámara Digital en madurez fisiológica. Estación de crecimiento 2012.
 Fig. 5. IQ variables acquired using a Digital Camera at the physiological ripeness stage. Growing season 2012.

lectura de color con espectrofotómetro no tuvo diferencias significativas con la imagen tomada con la cámara digital. Los datos de ambas campañas fueron graficados utilizando las variables IQ (Fig. 2 y 3).

Análisis de color de la espiga. Una vez encontrada la correlación adecuada entre las mediciones realizadas con espectrofotómetro y la cámara digital, el color de los genotipos a la espigazón solo se midió con esta última técnica.

Se graficó el subespacio cromático IQ en este descriptor (Fig. 4 y 5) y se visualizaron nubes de puntos ubicadas en diferentes cuadrantes. La falta total de coincidencia nos demostró la existencia de una gran influencia ambiental en el color medido. Si bien el color es un carácter cualitativo, regido por pocos genes y tiene poca influencia ambiental, esta variación en el color de los cultivares homocigotas (líneas puras) fue debida pura y exclusivamente al ambiente donde se desarrollaron los materiales.

CONCLUSIONES

En el descriptor color de la lámina, analizado conjuntamente con espectrofotómetro e imágenes digitales, se pudo evidenciar que existió una correlación entre la medición de color controlada en gabinete y la obtenida sin instrumental sofisticado. Esto haría más práctico el trabajo del mejorador al momento de los toma de datos, ya que no sería necesario la lectura de las muestras con espectrofotómetro, y por ende contar con este equipo.

La distribución de los puntos en este descriptor, en las dos estaciones de crecimiento, nos demostró que la interacción genotipo ambiente no fue marcada.

Comparativamente, lo contrario ocurrió en el descriptor color en madurez fisiológica, donde las influencias climática y edáfica fueron más evidentes.

Nuestros resultados muestran que fue más difícil diferenciar cultivares en el estado de macollaje que en el de madurez fisiológica.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Luis Hernández por el préstamo del Espectrofotómetro para las lecturas de las muestras del material vegetal en el presente trabajo.

A todo el personal del Criadero ACA Cabildo por la ayuda suministrada en la realización de los ensayos a campo.

REFERENCIAS

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.W. Robledo (2013). InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

- Foley, J., A. Van Dam, S. Feiner y J. Hughes (1990). Computer Graphics. Principles and Practice. Addison-Wesley, Reading Massachusetts Second edition.
- Francis, F.J. (1987). Food colorimetry: Measurement and interpretation. En: Physical Properties of Foods, 2. Elsevier Applied Science, New York pp. 237-249.
- McGuire, R.G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *Hortscience* 27: 1254-1255.
- Murray, H.D. (1952). Colour in Theory and Practice. Chapman-Hall, New York.
- Pedreschi, F., J. León, D. Mery y P. Moyano (2006). Development of a computer vision system to measure the color of potato chips. *Food Research International* 39: 1092-1098.
- Porras, I., J.Ochoa, S. Bañon, y J.A. Fernandez (1999). Caracterización colorimétrica de diversos cultivares de gerbera (*Gerbera jamesonii*) para flor cortada. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal* 14: 1-2.
- Salomón, N., D. Mailo, R. Miranda y M. Poverene (2000). Wheat Characterization and Identification by Capilar Electrophoresis. VI Simposio Latinoamericano de Electroforesis Capilar. U.N. Montevideo. Pág. 42.
- Salomón, N., A. Carrera, R. Miranda, y M. Poverene (2001). Estudio de los Descriptores de Trigo en la Argentina. Actas del V Congreso Nacional de Trigo y III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño Invernal. UNC.
- Salomón, N., J. Cuartucci, V. Pérez Fernández, R. Miranda y M. Poverene (2008). Electroforesis Capilar: una herramienta útil para la identificación de cultivares de trigo. *Revista de Análisis de Semillas* 3: 90-92.
- Schwarz, J.M.W, W.B. Cowan y J.C. Beatty (1987). An Experimental Comparison of RGB, YIQ, LAB, HSV and opponent Color Models. *ACM Transactions on Graphics* 6:123-158.
- Trouve, A. (1991). La Mesure de la Couleur. Principes, technique et produits du marché. Co-editado por AFNOR (Association Française de Normalisation) - CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) 194 p., softbound, 320 Paris, Francs.
- Wiesnerova, D. y I. Wiesner (2008). Computer image analysis of seed shape and seed color for flax cultivar description. *Computers and electronics in agriculture* 61: 126-135.
- Zhang, J., S. Sokhansanj, S. Wu, R. Fang, W. Yang, y P. Winter (1998). A transformation technique from RGB signals to the Munsell system for color analysis of tobacco leaves. *Computers and Electronics in Agriculture* 19: 155-166.
- www.easycolor.com/math.php?MATH=M5. (2014). Color conversion math and formulas.
- www.xrite.com/top_munsell.aspx (2011). Defining COLOR, Systems for precise color validation.