

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 539 118**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.08.2008 E 08795063 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015 EP 2191439**

54 Título: **Método para el análisis de imagen digital del maíz**

30 Prioridad:

13.08.2007 US 891776

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

26.06.2015

73 Titular/es:

**PIONEER HI-BRED INTERNATIONAL, INC.
(100.0%)
7100 NW 62ND AVENUE P.O. BOX 1014
JOHNSTON, IA 50131-1014, US**

72 Inventor/es:

**HAUSMANN, NEIL J.;
ABADIE, TABARE E.;
COOPER, MARK;
LAFITTE, HONOR R. y
SCHUSSLER, JEFFREY R.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 539 118 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para el análisis de imagen digital del maíz

Antecedentes de la invención

5 El conocimiento de los fitogenetistas y la información publicada sugieren que la estabilidad del rendimiento de los genotipos frente a diferentes ambientes puede estar asociado positivamente con una mayor estabilidad del rendimiento dentro de las parcelas. La tecnología actual de las cosechadoras proporciona un rendimiento promedio por parcela y no permite la cuantificación de las diferencias entre plantas dentro de la parcela. Anteriormente a esta invención, los fitogenetistas podrían evaluar cualitativamente la estabilidad dentro de la parcela empleando métodos visuales. Este método subjetivo es difícil de estandarizar y depende del conocimiento y experiencia del fitogenetista.
 10 Alternativamente, las mazorcas podrían cosecharse a mano, desgranarse individualmente, pesarse y podrían contarse los granos. Este método manual es tan laborioso como para que sea prohibitivo en experimentos que implican grandes poblaciones de mejoramiento. Se necesitan métodos y sistemas mejorados.

15 CHI-REN SHYU ET AL: "Image Analysis for Mapping Immeasurable Phenotypes in Maize" [Life Sciences], IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 24, no. 3, 1 de Mayo de 2007 (2007-05-01), páginas 115-118, describe el análisis de imagen de hojas para detectar enfermedad.

JIA J.: "Seed maize quality inspection with machine vision", SPIE-COMPUTER VISION FOR INDUSTRY, vol. 1989, 1993, páginas 288-295, describe una máquina de inspección que detecta granos perdidos en las mazorcas de maíz.

JP 4-145309 describe el análisis de imagen de la textura del maíz para indicar el estado de disposición de los granos individuales del maíz.

20 US 6.418.180 describe un método para el recuento de objetos de tamaño sustancialmente uniforme e incluye las etapas de obtener una imagen de objetos de tamaño sustancialmente uniforme, analizar la imagen para determinar el área total de los objetos en la imagen y el tamaño medio de los objetos, y determinar un recuento de los objetos a partir del área total de los objetos y del tamaño medio de los objetos.

Breve compendio de la invención

25 La presente invención proporciona un método para evaluar granos en una mazorca empleando imágenes digitales, definido en la reivindicación 1 adjunta.

La estimación de la al menos una propiedad física se puede usar para identificar características de interés que se pueden incorporar en un programa de fitomejoramiento, usar para evaluar enfermedades, usar para caracterizar germoplasma, o para otros propósitos.

30 **Breve descripción de los dibujos**

La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un sistema.

La FIG. 2 es un diagrama de bloques de un sistema integrado en una combinación recolectora-desgranadora.

La FIG. 3 es una imagen digital de cinco mazorcas de maíz separadas.

35 La FIG. 4 es una representación de la FIG. 3 después de que haya sido seleccionada el área de granos llenos de cada una de las mazorcas.

La FIG. 5 es una representación de la FIG. 3 después de que se hayan aplicado un filtro de borde y un filtro espectral.

La FIG. 6 es una representación de la FIG. 3 después de que se haya aplicado un filtro espectral grande.

La FIG. 7 es una imagen de una mazorca de maíz que indica un eje mayor y un eje menor.

40 La FIG. 8 es un gráfico que ilustra la regresión de 1.500 genotipos de granos digitales por mazorca.

La FIG. 9 es un gráfico que ilustra la regresión de 630 mazorcas individuales por rendimiento frente al área digital de granos llenos.

La FIG. 10 es un gráfico que indica la proporción de plantas reprimidas.

45 La FIG. 11 es un gráfico que ilustra la relación entre granos por mazorca bajo estrés y la proporción de plantas reprimidas.

La FIG. 12 es un gráfico que ilustra granos por mazorca (recuento frente a la desviación típica de la longitud).

- La FIG. 13 es una imagen de una mazorca de maíz con un marca dibujada a lo largo de una hilera para su uso en la determinación de la anchura de grano.
- La FIG. 14 es un gráfico que ilustra distancias entre picos de intensidad espectral (marcados con "Q") que corresponden a la anchura de grano.
- 5 La FIG. 15 es un gráfico que ilustra las distribuciones del tamaño de grano dentro de una mazorca.
- La FIG. 16 es una imagen digital de cinco mazorcas de maíz.
- La FIG. 17 es una representación de la FIG. 16 donde se emplea una primera paleta para seleccionar todos los granos y generar la máxima longitud.
- La FIG. 18 es una representación de la FIG. 16 donde se emplea una segunda paleta para seleccionar los granos no-abortados y generar la máxima longitud.
- 10 La FIG. 19 es un diagrama de flujo de un método para evaluar una mazorca de maíz empleando imágenes digitales.
- La FIG. 20 es un diagrama de flujo de un método para usar procesamiento de imágenes en el cribado del maíz para determinar el maíz más propenso a presentar tolerancia al estrés y/o los menos probables a presentar tolerancia al estrés.
- 15 La FIG. 21 es un diagrama de flujo de un método de recuento de granos en una mazorca de maíz.
- La FIG. 22 es un diagrama de flujo de un método alternativo de recuento de granos en una mazorca de maíz con referencias a los paneles de la imagen en la FIG. 23.
- La FIG. 23 es una imagen que ilustra el método de la FIG. 22 de recuento de granos en una mazorca de maíz.
- Las FIG. 24A-24L ilustran un ejemplo de un proceso descrito en la FIG. 22.
- 20 La FIG. 25 es una ilustración del procedimiento de post-procesamiento para identificar el anillo de grano al que se inicia el aborto (es decir, anillo crítico de grano).
- La FIG. 26 es un gráfico de 1.500 líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés que indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente a un recuento manual de granos por mazorca.
- La FIG. 27 es un gráfico de promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés que indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente a un recuento manual de granos por mazorca.
- 25 La FIG. 28 es un gráfico de 1.500 líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés de floración que indica el área de granos llenos frente al rendimiento promedio por mazorca.
- La FIG. 29 es un gráfico de promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés que indica el área de granos llenos frente al rendimiento promedio por mazorca.
- 30 La FIG. 30 es un gráfico de 630 mazorcas individuales de híbridos comerciales cultivadas en estrés que indica el área de granos llenos frente al rendimiento promedio por mazorca.
- La FIG. 31 es un gráfico de 630 mazorcas individuales de híbridos comerciales cultivadas bajo condiciones de estrés que indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente al recuento manual de granos por mazorca.
- 35 La FIG. 32 es un gráfico de 287 parcelas de híbridos comerciales cultivados bajo condiciones de estrés que indica el área de granos llenos frente al rendimiento promedio por mazorca.
- La FIG. 33 es un gráfico de 287 parcelas de híbridos comerciales cultivados bajo condiciones de estrés que indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente al recuento manual de granos por mazorca.
- La FIG. 34 es un gráfico de 1.500 parcelas de líneas de mejoramiento de élite que indica la proporción de plantas reprimidas frente al recuento de granos por mazorca.
- 40 La FIG. 35 es un gráfico que indica promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite que indica la proporción de plantas reprimidas frente al rendimiento.

Descripción detallada

- Según un aspecto, se pueden cuantificar características del grano y de la mazorca con un alto rendimiento con poco deterioro de la calidad de los datos. Una vez que se cuantifican las características del grano y de la mazorca, esta información se puede emplear para numerosas aplicaciones. Ejemplos de tales aplicaciones incluyen, sin limitación, identificar características de interés que pueden ser incorporadas dentro de un programa de fitomejoramiento,
- 45

evaluar enfermedades, caracterizar germoplasma para diversos fines (como determinar sus orígenes), y otras aplicaciones.

Aunque se contemplan numerosas aplicaciones, una aplicación es proporcionar lo necesario para medir la proporción de plantas reprimidas dentro de una parcela. Esta característica ya está siendo utilizada para seleccionar tolerancia al estrés en poblaciones de mejoramiento. Esta técnica también permite la estimación directa de diversas características, como, aborto del grano, establecimiento del grano, rendimiento, números de granos por mazorca, reparto de carbono dentro de la mazorca y selección de poblaciones con tolerancia a la enfermedad a partir de estas mismas imágenes. Además, se generan fácilmente medidas de variación dentro de la parcela para las características enumeradas anteriormente. Para aumentar el rendimiento, también se podría automatizar la recogida de la mazorca y de la imagen (p. ej. incorporarlas en una combinación recolectora-desgranadora).

La imagen digital y el procesamiento adecuado de la imagen permiten una medida cuantitativa de alto rendimiento de los fenotipos de los componentes de la mazorca de las plantas de maíz individuales. Tales medidas tienen diversos usos en aplicaciones de fitomejoramiento como, pero no limitadas a, el estudio de la variación genética de planta a planta. Ejemplos de características que pueden ser determinadas a partir de imágenes incluyen, sin limitación, color de la mazorca (como mediante la determinación de la densidad de color rojo, azul y verde), color del grano (como mediante la determinación de la densidad de color rojo, azul y verde), porcentaje del daño resultante de enfermedades o insectos (como *Fusarium verticillioides*, *Diplodia maydis*, *Ustilago maydis*, *Agrotis ipsilon*, *Blissus leucopterus*, *Agramyza parvicorreis*), contenido de almidón del grano, patrón de relleno del grano, (como regular, irregular u otra caracterización), textura del grano, variación dentro de la parcela de cualquiera de las características previamente enumeradas, pendiente lineal de la distribución del grano, pendiente exponencial del área de distribución del grano, anillo crítico del grano del área de distribución del grano, y recuento de los anillos de grano totales a partir del área de distribución del grano.

Visión general

La FIG. 1 proporciona una visión general de un sistema 10. El sistema 10 tiene un componente 12 de adquisición y de procesamiento de imágenes. En la FIG. 1, se indican una o más mazorcas de maíz 14. Se usa un sensor de imagen 16 para recoger datos de imagen de una o más mazorcas de maíz 14. El sensor de imagen 16 puede ser de cualquier número de tipos de sensores de imagen 16 que se puede asociar con cámaras o dispositivos de imagen. Por ejemplo, el sensor de imagen 16 puede ser una cámara CCD, un sensor de color, un sensor ultrasónico, o un sensor de haz de luz. El sensor de imagen 16 podrá proporcionar imágenes en color, imágenes de longitudes de onda de luz específicas o imágenes a través de un amplio espectro. Después de que se utiliza el sensor de imagen 16 para adquirir una imagen, se usa un sistema de procesamiento de imagen 18 para procesar una o más imágenes, como mediante la aplicación de uno o más algoritmos de procesamiento de imagen. Ejemplos de tipos de algoritmos incluyen, sin limitación, de filtrado, de línea divisoria, de umbral, de búsqueda de borde, de realce del borde, de selección de color y de filtrado espectral. El sistema de procesamiento de imagen 18 también suministra los datos de extracción 20 de una o más imágenes. Los datos 20 pueden incluir recuento de granos, distribución del tamaño de grano, proporción de granos abortados y otra información. Téngase en cuenta que los datos 20 pueden incluir datos sobre la mazorca de maíz o uno o más granos en la mazorca de maíz (incluyendo, sin limitación del tamaño, forma y peso del grano). Se ha de entender además que la imagen no necesita incluir la mazorca y en su lugar podría incluir uno o más granos desgranados.

Los datos 20 extraídos de una o más imágenes son usados por un componente de análisis 22. El componente de análisis 22 puede tener un componente de análisis de relación 24. El componente de análisis de relación 24 relaciona los datos de una o más propiedades o características medidas físicamente. Por ejemplo, el componente de análisis de relación puede modificar un recuento de grano de la media mazorca visible en la imagen mediante el uso de una regresión lineal previamente establecida que relaciona un recuento de grano determinado mediante captura de imagen con un recuento de grano determinado mediante recuento manual, si al hacerlo va a mejorar la precisión del recuento de grano. El componente de análisis de relación 24 también se puede usar para calcular estadísticas que describen la variación entre plantas dentro de una parcela. Sin embargo, el componente de análisis de relación puede ser pasado por alto para características como longitud o anchura que son medidas directas de propiedades físicas de uno o más granos de maíz fotografiados.

También se indica un componente de análisis de diversidad 26. El componente de análisis de diversidad 26 puede generar análisis de marcadores, perfiles genotípicos, perfiles fenotípicos, y otros tipos de análisis. Basándose en los resultados del componente de análisis de diversidad 26 se identifica el germoplasma 28 correspondiente.

Así, como se indica en la FIG. 1, los datos extraídos de imágenes digitales de mazorcas de maíz se usan de una manera que esclarece las características de la mazorca y la variación intra-mazorca e inter-planta de las características de la mazorca. Los datos pueden obtenerse de múltiples mazorcas de maíz de una o más fuentes diferentes, de la misma planta, de plantas diferentes dentro de la misma parcela, de parcelas diferentes, o de otro modo.

La FIG. 2 ilustra un sistema integrado con una combinación de recolectora desgranadora. Se usa un recolector 30 para recolectar mazorcas de maíz de modo convencional. Después de recoger las mazorcas de maíz, se transportan

a lo largo de una ruta de transporte 32 hacia una desgranadora 34. Se puede usar cualquier número de formas de transporte ya que puede ser lo más conveniente para un diseño particular de combinación recolectora desgranadora. La ruta de transporte 32 permite que las imágenes de las mazorcas sean capturadas antes de que las mazorcas sean desgranadas por la desgranadora 34. Las imágenes de las mazorcas son captadas con el sensor de imagen 5 16. Se puede usar almacenamiento de imagen 36 para almacenar la imagen. La utilización del almacenamiento de imagen 36 permite al componente de procesamiento de imagen 18 estar localizado a distancia de la combinación de recolectora desgranadora. Por ejemplo, el almacenamiento de imagen 36 puede incluir medios digitales como, pero no limitados a, memoria en estado sólido, magnética, u óptica para el almacenamiento de representaciones de imágenes digitales. Los medios digitales se pueden entonces eliminar de la combinación de recolectora desgranadora y trasladar a un sitio diferente de procesamiento. Alternativamente, el componente de procesamiento de imagen 18 puede recibir las imágenes de modo inalámbrico o el componente de procesamiento de imagen se puede localizar a bordo de una máquina combinación de recolectora desgranadora, como una combinación de recolectora desgranadora automática. El componente de procesamiento de imagen 18 procesa entonces las imágenes para que los datos puedan ser extraídos. Un componente de análisis 22 analiza entonces los datos 20.

15 Adquisición de imágenes

Las mazorcas se pueden cosechar a mano o a máquina en su madurez y se puede tomar una imagen digital bajo condiciones de iluminación controladas. Se puede tomar la imagen de una o más mazorcas de maíz o de uno o más granos separados o unidos a la mazorca. Como el análisis de imagen (discutido más adelante) puede implicar el uso de filtros espectrales, el uso de condiciones de iluminación controladas permite simplificar el uso de filtros 20 espectrales y estandarizar la captura de datos. Sin condiciones de iluminación controladas, se pueden hacer determinaciones de las condiciones de iluminación y se pueden realizar calibraciones adicionales para ayudar a proporcionar el procesamiento de imagen adecuado. Se puede también manipular la calidad de la imagen (iluminación, contraste, balance de color, fidelidad del color, etc.) después de la captura de la imagen para mejorar la imagen para propósitos de análisis.

Para adquirir la imagen se pueden usar varios tipos de sensores de imagen. Los sensores de imagen usados pueden incluir un sensor de imagen con dispositivo de acoplamiento de carga (DAC), una cámara, una video cámara, un sensor de color, sensor láser/de haz de luz, sensor ultrasónico, u otro tipo de sensor de imagen. El sensor de imagen podrá suministrar imágenes en color ya que las imágenes en color pueden ser convenientes donde se usan filtros espectrales. El sensor de imagen puede suministrar imágenes a través de un espectro más 30 amplio que o diferente del espectro visible. El sensor de imagen puede estar configurado para capturar la imagen de una única mazorca, múltiples mazorcas, granos individuales o múltiples granos en cada fotograma. Si se adquieren directamente imágenes analógicas en lugar de imágenes digitales, entonces las imágenes analógicas pueden ser convertidas en imágenes digitales a través de escaneado u otros medios. Alternativamente, la cantidad de luz interceptada según se mueve la mazorca a través de un campo de luz podría proporcionar un medio alternativo de recopilación de datos de dos o de tres dimensiones.

Procesamiento de imágenes y extracción de datos

Los datos se extraen automáticamente para cada mazorca a partir de imágenes digitales usando un software de procesamiento de imágenes. Un ejemplo de un software de procesamiento de imágenes que se puede utilizar es Image Pro Plus (MediaCybernetics, Silver Spring, MD). Pueden realizarse diferentes operaciones de procesamiento de imágenes o aplicarse técnicas o algoritmos como se discutirá en mayor detalle. Los datos grabados para cada mazorca pueden incluir, sin limitación, longitud del eje menor, longitud del eje mayor, recuento de grano, longitud del grano lleno de mazorca, anchura del grano lleno de mazorca, área de granos llenos de mazorca, longitud del grano 45 lleno de mazorca más mazorca, anchura del grano lleno de mazorca más mazorca, área de granos llenos de la mazorca más mazorca, color de la mazorca, redondez de la mazorca, densidad de color de la mazorca, área de grano, color de grano (como densidad de rojo, azul, verde), redondez de grano, recuento de granos llenos, longitud de grano, anchura de grano, ubicación del grano en la imagen (coordenadas x, y), longitud de la mazorca de granos llenos, longitud de la mazorca de granos llenos más abortados, área de la mazorca de granos llenos más abortados, área de la mazorca de granos abortados, área del daño resultante de *Fusarium verticillioides*, *Diplodia maydis*, *Ustilago maydis*, *Agrotis ipsilon*, *Blissus Leucopterus*, *Agramyza parvicorreis* y/o otras enfermedades y/o insectos, u otra información con respecto al tamaño, forma, ubicación, color de una mazorca, grano, o porción de una mazorca o grano.

La FIG. 3 es una fotografía de una imagen digital de cinco mazorcas de maíz separadas. Una técnica de procesamiento de imagen es seleccionar el área de granos llenos de cada mazorca empleando una paleta de colores predeterminada. La FIG. 4 es una fotografía después de haber sido seleccionado en la imagen digital el área de granos llenos de cada una de las cinco mazorcas. Se ha indicado que el área de granos llenos está estrechamente relacionada con el rendimiento de la mazorca individual. Puede calcularse una longitud del eje menor, una longitud del eje mayor y un área de grano lleno para la región seleccionada de cada mazorca.

La FIG. 5 ilustra que se puede aplicar un filtro de borde y un filtro espectral a la imagen digital de cinco mazorcas de maíz separadas. El uso de tales filtros intensifica la imagen digital para fines de segmentación de imagen de los granos de cada grano. Como se indica en la FIG. 5, se han identificado tanto los granos del borde indicados en 60

amarillo y la aplicación de un gran filtro espectral da como resultado regiones brillantes para cada grano que están separadas por espacio negro. En la FIG. 5, se han conservado los granos del borde de cada mazorca. Un filtro tal acentúa el centro de los granos, permitiendo de este modo el recuento de granos en la imagen empleando una paleta de colores. En la FIG. 6, se elige una paleta de colores que permita que los granos sean contados y medidos. Se ha indicado que este recuento está estrechamente relacionado con el recuento físico de granos para cada mazorca.

La FIG. 7 es una imagen de una mazorca de maíz que indica un eje mayor y un eje menor. Los datos se pueden extraer automáticamente de imágenes en modo de lotes permitiendo un procesamiento libre de trabajo de muchas imágenes cada día. Procesar manualmente estos números de imágenes sería prohibitivamente costoso y/o consumiría mucho tiempo.

Como se discutió previamente, ejemplos de datos que se pueden extraer incluyen longitud del eje menor, longitud del eje mayor, la magnitud del área de grano lleno, y el recuento de grano. Se apreciará que estos elementos de datos u otros elementos de datos pueden relacionarse con diversas características de interés en el fitomejoramiento. La siguiente tabla ilustra ejemplos de tales datos.

Mazorca nº	Recuento	Área de grano lleno	Eje mayor	Eje menor
1	1	3,72	3,729	1,278
2	7	2,854	3,284	1,1
3	5	3,114	3,248	1,218
4	2	3,373	3,543	1,217
5	2	2,495	3,038	1,053
5	149	0,915	0,4	0,163
4	154	1,275	0,897	0,166
3	163	1,219	0,361	0,164
2	144	0,986	0,26	0,117
1	204	1,279	0,401	0,111

15 Análisis de datos

Los datos se pueden emparejar con otros datos de modo que se puedan determinar relaciones entre las parejas de datos mediante regresión u otras técnicas estadísticas usadas para relacionar conjuntos de variables. Se ha de entender que el tipo de relación presente entre parejas de datos puede variar y como tales se pueden aplicar diferentes herramientas matemáticas y estadísticas. Se ha de entender también que en lugar de relacionar dos conjuntos de datos (emparejamiento), se pueden relacionar múltiples conjuntos de datos.

Se puede obtener una amplia variedad de información a través del análisis de datos. Ejemplos de tal información incluyen, sin limitación, porcentaje de grano abortado en la punta, número de granos abortados, tamaño de grano, porcentaje de pérdida debida a dispersión de grano, granos por imagen de mazorca, granos por mazorca, forma de grano, forma de la mazorca, longitud de la mazorca, anchura de la mazorca, área de granos llenos, rendimiento, distribución del tamaño del grano desde la base a la punta, peso del grano, color del grano, contenido en almidón del grano, patrón de relleno del grano, textura de grano, porcentaje de plantas reprimidas dentro de una parcela, porcentaje de daño resultante de *Fusarium verticillioides*, *Diplodia maydis*, *Ustilago maydis*, *Agrotis ipsilon*, *Blissus leucopterus*, *Agramyza parvicorreis* y/o otras enfermedades y/o insectos, y dentro de la variación de la parcela de cualquiera de los valores anteriores.

La FIG. 8 es un gráfico que ilustra la regresión de 1.500 parcelas de mejoramiento selectas para granos digitales por mazorca. El gráfico muestra el promedio por parcela del número de granos por mazorca determinados automáticamente, visibles en la imagen digital a lo largo del eje x (KPE Digital). Se indica el número promedio de granos por mazorca para cada parcela mediante recuento tradicional de granos por mazorca a lo largo del eje x (KPE Tradicional). A partir de esta información se realizó una regresión lineal para relacionar el KPE Digital con el KPE Tradicional. Además, se determinó un valor R^2 con el fin de proporcionar una medida de precisión de la regresión lineal. Nótese que el valor R^2 es relativamente alto para ajuste lineal.

$$\text{KPE Tradicional} - \text{KPE Digital} = 3,0249x - 61,956, R^2 = 0,9456$$

Se realizó otra regresión lineal para relacionar los granos tradicionales por mazorca con el área determinada digitalmente. De nuevo, nótese que el valor de R^2 es relativamente alto para ajuste lineal.

KPE Tradicional - Área $y = 0,0071x + 0,1439$, $R^2 = 0,9449$

Aún se realizó otra regresión lineal para relacionar los granos tradicionales por mazorca con la longitud del eje mayor máximo. De nuevo, se determinó un valor relativamente alto de R^2 .

KPE Tradicional - Longitud max. mayor $y = 0,0072x + 0,4643$, $R^2 = 0,9244$

- 5 La FIG. 9 es un gráfico que ilustra la regresión de 630 mazorcas individuales relacionando el rendimiento de cada mazorca individual en gramos con el área de grano lleno de cada año individual. Un valor relativamente alto de R^2 se asocia con el ajuste cuadrático.

Rendimiento tradicional – área de grano lleno $y = 2,3535 x^2 + 17,028 x - 0,7258$, $R^2 = 0,97$

- 10 La tabla siguiente proporciona R^2 a partir de regresiones de promedios de 12 familias de mejoramiento de élite (aproximadamente 115 puntos por familia) comparando rendimiento con área digital de grano lleno y granos con área digital de grano lleno.

R^2	Rendimiento	Granos por mazorca
KPE	0,96	0,95
KPE Digital	0,96	0,97
Área	0,98	0,99
Longitud	0,96	0,99

Aunque en los ejemplos de arriba se ha usado regresión lineal, se ha de entender que pueden ser más apropiados otros tipos de relaciones dependiendo de parámetros físicos que se relacionan y del número de parámetros físicos que se relacionan.

- 15 Estos resultados sugieren que la captura de imagen digital (estimación del área de grano lleno) puede reemplazar recuentos manuales y rendimientos tradicionales de grano.

Variabilidad dentro de la parcela

- 20 Los datos extraídos a partir de las imágenes se pueden usar para cuantificar la variabilidad dentro de la parcela. La "parcela" es simplemente un área donde se crecen múltiples plantas de antecedentes genéticos similares. La variabilidad dentro de la parcela describe variaciones entre plantas dentro de la parcela. Ejemplos de tipos de medidas de variabilidad dentro de la parcela incluyen, sin limitación, proporción de plantas reprimidas, o el error estándar, desviación estándar, desviación estándar relativa, sesgo, curtosis, varianza, coeficiente de variación, intervalo intercuartil, normas de reacción, la diferencia media de Gini o intervalo de características de la mazorca.

- 25 Se encuentra que la proporción de plantas reprimidas es una medida útil de variabilidad para un conjunto de plantas asociadas con una parcela. La proporción de plantas reprimidas (PROPREP) se calcula como el número de plantas reprimidas dividido por el número total de plantas en una parcela. La FIG. 10 es un gráfico que explica el origen del cálculo de la proporción de plantas reprimidas. Las parcelas de granos por mazorca para plantas individuales muestran dos clases de plantas cuando las plantas se cultivan bajo estrés. Con referencia a la Entrada 8, la primera clase de plantas posee más de 160 granos por mazorca. Estas plantas se denominan no reprimidas. Con referencia a la Entrada 7, por ejemplo, hay una segunda clase de plantas que incluye mazorcas con 0 a 160 granos por mazorca. Estas mazorcas se denominan reprimidas.

- 35 La FIG. 11 proporciona gráficos que ilustran la relación entre granos por mazorca bajo estrés de floración y PROPREP. PROPREP predice los granos por mazorca bajo estrés de floración a través de múltiples estudios, indicando que la selección directa de esta característica aumentará la estabilidad del rendimiento. Así, la determinación de granos por mazorca de forma automática se puede usar para fines de reproducción. En particular, se pueden identificar regiones cromosómicas asociadas con la proporción de plantas reprimidas. El análisis y la identificación de las regiones cromosómicas permite la reproducción molecular con marcadores asociados. La FIG. 12 es un gráfico que ilustra granos por mazorca (recuento frente a la desviación estándar de la longitud). Así, debe quedar claro que además de PROPREP, se pueden hacer otras medidas de variabilidad dentro de la parcela. 40 Nótese que en la FIG.12 se observan bajas desviaciones estándar en los extremos de los granos por mazorca (es decir, aquellas parcelas con cinco mazorcas uniformemente diminutas o grandes).

Distribución de los granos

- 45 Se han medido también las distribuciones de los granos dentro de las mazorcas. La FIG. 13 es una imagen de una mazorca de maíz con un trazo dibujado a lo largo de una hilera para su uso en la determinación del tamaño de grano. Un usuario dibuja un trazo a lo largo de una hilera y se puede usar un programa de imagen como Image Pro

para identificar automáticamente “picos” entre los granos. La FIG. 14 proporciona un gráfico que indica que Image Pro es capaz de identificar automáticamente los picos entre los granos y medir la distancia entre estos picos.

5 La FIG. 15 es un gráfico que ilustra distribuciones de tamaño de grano dentro de una mazorca generadas a partir de un trazo como el que se muestra en la FIG. 13. Usando estos datos, se pueden medir distribuciones de tamaño de grano dentro de las mazorcas. Esta información se puede dar salida hacia Microsoft Excel u otro programa de hoja de cálculo u otra aplicación para determinar las distancias entre “picos” que corresponden a la anchura de grano.

La FIG. 16 es una representación fotográfica de una imagen de cinco mazorcas de maíz que presentan granos abortados en la punta de la mazorca. La proporción de granos abortados se puede medir mediante el procesamiento de tal imagen.

10 En la FIG. 17, se utiliza una primera paleta para seleccionar todos los granos y generar la longitud máxima.

En la FIG. 18, se utiliza una segunda paleta para seleccionar los granos no-abortados y generar la longitud máxima. Se indica también una determinación como la pérdida proporcional de longitud debida al aborto de grano. Para cada mazorca, de izquierda a derecha, la pérdida proporcional de longitud debida al aborto de grano es 0,100645, 0,082512, 0,05225, 0,099612, 0,083212.

15 Métodos de operación

La FIG. 19 es un diagrama de flujo de un método de evaluación de una mazorca de maíz usando imágenes digitales. En la etapa 40, se adquiere una imagen digital de una mazorca de maíz. En la etapa 42, se procesa la imagen digital para determinar una estimación de al menos una propiedad física de la mazorca de maíz a partir de la imagen digital. El procesamiento puede incluir la aplicación de un filtro espectral a la imagen digital. La etapa de procesamiento puede incluir la extracción de un área de grano lleno de la mazorca de maíz empleando una paleta de color predeterminada y contando después el número de granos en la mazorca de maíz representada en la imagen digital. En la etapa 44, la estimación de la al menos una propiedad física de la mazorca de maíz se compara con las estimaciones de otras mazorcas para proporcionar una comparación. Las otras mazorcas pueden estar en la misma planta, en la misma parcela o en parcelas situadas a distancia. En la etapa 46, se evalúa la mazorca de maíz en relación a las otras mazorcas de maíz basándose en los resultados de la comparación. Las propiedades físicas implicadas pueden incluir, sin limitación, el rendimiento o el recuento de grano. Cabe señalar que la etapa 44 no siempre se necesita, dependiendo de la propiedad física involucrada. Por ejemplo, si la propiedad física de interés es una propiedad intrínseca como la longitud de la mazorca u otras medidas que se pueden determinar directamente a partir de la imagen digital, entonces no se realiza la etapa 44.

20

25

La FIG. 20 es un diagrama de flujo de un método para el uso de procesamiento de imagen en el cribado del maíz para determinar el maíz más propenso a exhibir tolerancia al estrés y/o el maíz menos propenso a exhibir tolerancia al estrés. En la etapa 48, se adquieren las imágenes de las mazorcas de maíz. En la etapa 50, se procesan las imágenes de las mazorcas de maíz. En la etapa 52, se extraen las estimaciones de un fenotipo componente de las mazorcas asociado con tolerancia al estrés para cada una de las mazorcas de maíz. En la etapa 54, la estimación del fenotipo componente de la mazorca de un primer subgrupo se relaciona con las estimaciones de un segundo subgrupo de mazorcas de maíz. El primer subgrupo y el segundo subgrupo pueden consistir en mazorcas de maíz crecidas en una misma parcela o crecidas en múltiples parcelas. En la etapa 56, se determina la variación entre el primer subgrupo y el segundo subgrupo. En la etapa 58, se seleccionan las mazorcas con tolerancia al estrés en relación a las otras mazorcas.

30

35

La FIG. 21 es un diagrama de flujo de un método de recuento de granos en una mazorca de maíz. En la etapa 60, se adquiere una imagen digital de una mazorca de maíz. En la etapa 62, se extrae un área de grano lleno de la mazorca de maíz empleando una paleta de color predeterminada. En la etapa 64, se aplica un filtro a la imagen digital para realzar un centro de cada grano en la mazorca de maíz. En la etapa 66, se cuenta el número de granos en la mazorca de maíz representados en la imagen digital. En la etapa 68, un usuario recibe un resultado en relación al número de granos en la mazorca. El resultado se puede suministrar en una pantalla o impreso a partir de, o a través de una impresión en un proceso automatizado.

40

45

La FIG. 22 y la FIG. 23 ilustran otros ejemplos de una metodología. En la FIG. 22, en la etapa 70 se aplican filtros de circunvolución 3D de alto-gauss verticales y horizontales. Después, en la etapa 72 se aplica un filtro morfológico abierto. En la etapa 74, se aplica un filtro de circunvolución de perfil de sombrero de granos. El resultado en este punto en el método se muestra en el panel A de la FIG. 23. Volviendo a la FIG. 22, en la etapa 76, se aplica un filtro 3D de línea divisoria para el rastreo de una línea entre granos de un solo pixel de ancho. La imagen resultante de este punto en el método se indica en el panel B de la FIG. 23. Volviendo a la FIG. 22, en la etapa 78 se aplica una función recuento/tamaño para seleccionar el color de la línea de un solo pixel de ancho. El resultado de esta etapa se indica en el panel C de la FIG. 23. Después en la etapa 80, se aplica una máscara y se invierte (como se indica en el panel D de la FIG. 23) y se aplica la máscara a la imagen original a través de funciones de operaciones de imagen. En la etapa 82, se selecciona el color de los granos a través del uso de la función recuento/tamaño. La FIG. 23, el panel E indica esta etapa. En la etapa 84, se reúnen los parámetros de pre-procesamiento para cada mazorca con un acumulador de datos y los parámetros de pre-procesamiento se generan automáticamente hacia el archivo

50

55

de base de datos o se asocian con la imagen como metadatos. Los datos pueden ser enviados a una aplicación como Microsoft Excel mediante intercambio dinámico de datos (IDD), adjunto a un fichero de texto o asociado con la imagen como metadatos. Esto se indica en la FIG. 23, imagen panel F. El método que se indica en las FIG. 22 y 23 no es más que un método. Los filtros específicos aplicados, las operaciones de imagen aplicadas, las funciones usadas, y las aplicaciones de software usadas pueden variar de muchas maneras.

5

Ejemplos de parámetros de pre-procesamiento incluyen, pero no se limitan a aquellos en la siguiente tabla.

Parámetros de pre-procesamiento

- Anchura de grano lleno de mazorca
- Área de grano lleno de mazorca
- 10 Longitud de grano lleno de mazorca + mazorca
- Anchura de grano lleno de mazorca + mazorca
- Área de grano lleno de mazorca + mazorca
- Color de mazorca
- Excentricidad elíptica de mazorca
- 15 Densidad de color de mazorca
- Área de grano
- Color de grano (densidad de rojo, azul, verde)
- Excentricidad elíptica de grano
- Recuento de grano lleno
- 20 Recuento de grano abortado
- Longitud de grano
- Anchura de grano
- Localización de grano en la imagen (coordenadas x, y)
- Longitud de la mazorca de granos llenos
- 25 Longitud de la mazorca de granos llenos + granos abortados
- Área de la mazorca de granos llenos + granos abortados
- Área de la mazorca de abortados
- Área de evidencia de insectos o enfermedades

30

Ejemplos de características de post-procesamiento incluyen, pero no se limitan a aquellos que se enuncian en la siguiente tabla:

Características de post-procesamiento

- Porcentaje de grano abortado en la punta
- Número de granos abortados
- Tamaño de grano
- 35 Porcentaje de pérdida debida a dispersión de grano
- Granos por imagen de mazorca
- Forma de grano
- Forma de la mazorca
- Longitud de la mazorca

ES 2 539 118 T3

- Anchura de la mazorca
- Área de granos llenos
- Distribución del tamaño de grano desde la base a la punta
- Peso de 100 granos
- 5 Color de grano
- Porcentaje de plantas reprimidas dentro de una parcela
- Porcentaje de daño por insectos o enfermedad
- Contenido en almidón del grano
- Patrón de relleno del grano (regular/irregular)
- 10 Textura del grano
- Variación dentro de la parcela de cualquiera de las características de arriba

15 Por consiguiente, los resultados proporcionados se pueden usar en cualquier número de aplicaciones. Tales aplicaciones incluyen, sin limitación, el estudio de la variación genética planta a planta, la cuantificación de la tolerancia al estrés de la variabilidad planta a planta para la cuantificación de la tolerancia al estrés daño resultante de *Fusarium verticillioides*, *Diplodia maydis*, *Ustilago maydis*, *Agrotis ipsilon*, *Blissus leucopterus*, *Agramyza parvicorreis* y/u otras enfermedades y/o insectos, la caracterización del tipo de mazorca para la producción directa (forma y tamaño de la mazorca, forma y tamaño del grano, textura del grano), el esclarecimiento del reparto de carbono dentro de la mazorca a través de los cambios del tamaño de grano desde la base a la punta de la mazorca, la cuantificación del aborto del grano en la punta, inclinación de la punta, grupo de efectos de dispersión de granos o granos anormales, la medida de respuesta genotípica a la variación micro-ambiental en el campo (proxy para la medición de genotipos a gran escala por efectos ambientales), la prueba de los efectos de la introducción de transgenes y/o regiones genéticas (QTL), y la determinación del grado en el que la progenie de un cruce es fenotípicamente similar a cada progenitor.

NUM	RESULTADO n°	RECuento	CENTRX	CENTRY	ÁREASUM	ÁREAMED
1	1	135	35,35246	13,48555	32,53858	0,2410265
1	2	182	1.706,097	658,8908	92.396	507,6703
1	3	3	34,99506	18,08275	42,1449	14,0483
1	4	1	35,56424	14,30337	49,12507	49,12507
1	5	2	35,03009	9,472943	53,31369	26,65684
2	1	172	27,39945	12,36879	38,41016	0,2233149
2	2	219	1.325,732	611,4419	105.996	484
2	3	2	28,23376	11,20392	49,2149	24,60745
2	4	1	27,63672	13,81572	51,7849	51,7849
2	5	1	27,56835	13,25037	55,72996	55,72996
3	1	136	11,21523	13,79884	33,92744	0,2494665
3	2	171	541,6906	680,0285	91.096	532,7251
3	3	1	11,37113	15,08384	41,4021	41,4021
3	4	1	11,36911	15,10278	44,25109	44,25109
3	5	3	11,10934	9,269123	47,76082	15,92027
4	1	148	19,00307	15,55257	32,92034	0,2224347

ES 2 539 118 T3

NUM	RESULTADO nº	RECUENTO	CENTRX	CENTRY	ÁREASUM	ÁREAMED
4	2	185	921,41	767,9702	92.518	500,0972
4	3	2	18,349	14,0886	43,79158	21,89579
4	4	1	19,20257	16,85983	45,85631	45,85631
4	5	2	18,68104	12,28019	50,83179	25,41589
5	1	152	2,9933	16,31716	35,48301	0,2334408
5	2	182	145,7958	794,9655	93.298	512,6264
5	3	1	2,93908	17,20154	42,43209	42,43209
5	4	1	2,941012	17,30406	47,32983	47,32983
5	5	1	2,951466	16,96155	49,79877	49,79877

NUM	RESULTADO nº	MAXLNG TH	MEDMAY R	MEDMEN R	MAXMAY R	MAXMEN R
1	1	0,9375152	0,6804908	0,4470006	0,9380788	0,6932975
1	2	45,1134	31,06593	20,39133	45,14059	33,36165
1	3	13,84423	4,95667	1,444745	13,95419	4,002734
1	4	13,89831	14,6818	4,300627	14,6818	4,300627
1	5	17,47058	8,502855	2,205065	16,70202	4,156119
2	1	0,94635	0,678732	0,4059304	0,9773213	0,6636778
2	2	45,53845	31,09625	19,20178	47,02894	31,93634
2	3	14,20953	7,71265	2,258259	14,98868	4,23881
2	4	14,24719	15,30998	4,338285	15,30998	4,338285
2	5	16,55908	16,89877	4,233573	16,89877	4,233573
3	1	1,017845	0,730448	0,422351	1,051235	0,7068508
3	2	48,979	33,01937	19,97027	50,58573	34,01385
3	3	12,15361	12,80303	4,218792	12,80303	4,218792
3	4	12,15609	13,19649	4,310743	13,19649	4,310743
3	5	14,17752	5,199972	1,669618	14,49537	4,205476
4	1	0,8975479	0,6627097	0,4128374	0,9318126	0,6561371
4	2	43,19018	31,1147	19,90239	44,83906	31,57348
4	3	11,89686	6,517767	2,362834	12,36636	4,561096
4	4	11,94049	12,71326	4,624691	12,71326	4,624691
4	5	14,01496	7,927475	2,694953	14,21309	4,502914
5	1	0,9384155	0,6656501	0,4447012	0,8889209	0,644022
5	2	69,07759	31,1538	20,8532	73,15811	30,9905

ES 2 539 118 T3

NUM	RESULTADO n°	MAXLNG TH	MEDMAY R	MEDMEN R	MAXMAY R	MAXMEN R
5	3	12,53186	13,00028	4,272011	13,00028	4,272011
5	4	12,55004	13,4672	4,502485	13,4672	4,502485
5	5	14,05047	14,4321	4,420476	14,4321	4,420476

Se calcula información adicional a partir de la información indicada en la tabla anterior. La tabla inferior describe los nombres de las características y una descripción de las características que se pueden calcular.

Nombre de la característica	Descripción	Unidades	Valores
TKERAB	Porcentaje de longitud de la mazorca afectada por el aborto de grano (por análisis fotométrico)	Porcentaje (%)	0 a 100
SCTTER	Porcentaje de área de la mazorca perdida debida a la dispersión de grano (por análisis fotométrico)	Porcentaje (%)	0 a 100
KERFIL	Porcentaje del área total de la mazorca con granos llenos (por análisis fotométrico)	Porcentaje (%)	0 a 100
KERARE	Área promedio por mazorca (por análisis fotométrico)	(cm ²)	0 a 1
KERSHA	Forma promedio del grano {excentricidad elíptica del área de grano individual; 0= circular; 1= fuertemente ovalado y alargado} (por análisis fotométrico)	Sin unidades	0 a 1
EARSHA	Forma de la mazorca {excentricidad elíptica del área de la mazorca; 0 = circular; 1 = fuertemente ovalado y alargado} (por análisis fotométrico)	Sin unidades	0 a 1
PHTYLD	Rendimiento por acre al 15% de humedad	Bu/ac	0 a 500
PHTKPE	Número total de granos por mazorca	Recuento	0 a 1.000
PROPREP	Se mide la proporción de plantas reprimidas en base a la parcela mediante la asignación de una proporción a las plantas reprimidas frente a las plantas totales en las parcelas	Proporción	0 a 1

Nótese que todas estas características se pueden medir de un modo altamente eficiente. Además, todas estas características se pueden medir por planta de un modo altamente eficiente.

5 La siguiente tabla ilustra cómo se pueden calcular las características:

Cálculos de la característica

$$\text{KERFIL} = (\text{Área de la mazorca total} - \text{Área de granos llenos}) / \text{Área de la mazorca total}$$

$$\text{TKERAB} = (\text{Longitud de la mazorca total} - \text{Longitud de los granos llenos con mazorca}) / \text{Longitud de la mazorca total}$$

$$10 \quad \text{SCTTER} = (\text{Área de los granos llenos con mazorca} - \text{Área de los granos llenos}) / \text{Área de los granos llenos con mazorca}$$

$$\text{EARSHA} = (1 - (\text{Eje menor de la mazorca total}^2 / \text{Eje mayor de la mazorca total}^2))^{1/2}$$

$$\text{KERSHA} = (1 - (\text{Eje menor promedio de grano}^2 / \text{Eje mayor promedio de grano}^2))^{1/2}$$

$$\text{KERARE} = \text{Área promedio de grano}$$

$$\text{EARLGT} = \text{Longitud de la mazorca total}$$

$$15 \quad \text{KEREAR} = 0,0033 * (\text{Recuento total de grano}^2) + 1,76 * (\text{Recuento total de grano}) - 1,92$$

$$\text{YIELD} = 0.0003 * (\text{Área de la mazorca total}^2) + 0,0106 * (\text{Área de la mazorca total})$$

Las siguientes tablas ilustran los cálculos basados en resultados experimentales.

ES 2 539 118 T3

NUM	KERFIL (%)	TKERAB (%)	SCTTER (%)	YIELD (bu/ac)	KEREAR (RECUENTO)
1	0,790508029	0,204473463	0,142089772	0,979593719	417,772
2	0,883095915	0,13961464	0,049628367	1,248309855	527,403
3	0,866863257	0,142579943	0,064382369	0,953102425	386,763
4	0,861499861	0,14801826	0,045026083	1,039501492	426,355
5	0,852071045	0,106788599	0,103481039	0,989924833	417,772

NUM	EARLGT (CM)	KERARE (CM ²)	KERSHA	EARSHA
1	17,47058	0,2410265	0,753995388	0,968544786
2	16,55908	0,2233149	0,801442602	0,968109998
3	14,17752	0,2494665	0,815889278	0,956988617
4	14,01496	0,2224347	0,782258781	0,948487495
5	14,05047	0,2334408	0,744097976	0,951936734

La tabla inferior indica un ejemplo de un resultado de un grano individual para una mazorca particular. Se determina un área para cada grano identificado en la mazorca, una localización (centro-x, centro-y) y una altura de recuadro y un ancho de recuadro asociado al grano que se proporciona.

5 Resultado del grano individual para la mazorca 5

Área (Valores)	Centro-X (Valores)	Centro-Y (Valores)	Altura recuadro (Valores)	Anchura recuadro (Valores)
0,079462	2,72788	10,2211	0,311719	0,3948441
0,059165	3,237934	10,20845	0,2493752	0,4364066
0,057438	2,366096	10,38344	0,311719	0,2909377
0,065211	3,613188	10,39283	0,2701565	0,3948441
0,107102	2,697626	10,51431	0,311719	0,4987504
0,114875	3,672425	10,69321	0,3740628	0,4779692
0,224568	2,159413	10,98613	0,8104695	0,4987504
0,101919	3,156815	10,79569	0,311719	0,5818755
0,16713	2,624615	10,84954	0,3948441	0,5610942
0,077735	3,656349	10,99086	0,2493752	0,4364066
0,171017	3,190554	11,11241	0,4571879	0,5610942
0,053983	4,116021	11,14507	0,2701565	0,3325003
0,180086	2,562923	11,22776	0,4156253	0,5610942
0,167994	3,673957	11,31195	0,4156253	0,5818755
0,111852	3,086861	11,42889	0,4779692	0,4987504
0,05096	4,12878	11,48288	0,3532815	0,2909377
0,293666	1,920464	11,66849	0,6857818	0,7065631
0,133445	2,578088	11,56225	0,3532815	0,5195317
0,132581	3,627177	11,69504	0,3948441	0,6234381
0,221113	3,06751	11,79917	0,4779692	0,6442193
0,068666	4,125016	11,80702	0,311719	0,3532815

ES 2 539 118 T3

Área (Valores)	Centro-X (Valores)	Centro-Y (Valores)	Altura recuadro (Valores)	Anchura recuadro (Valores)
0,168426	2,478246	11,89999	0,3948441	0,5610942
0,240115	3,68105	12,07993	0,5195317	0,6442193
0,138196	1,961297	12,12275	0,3948441	0,4779692
0,137332	4,178211	12,17331	0,4364066	0,4364066
0,264299	3,071858	12,23565	0,4987504	0,6857818
0,073848	1,588612	12,18268	0,3948441	0,3325003
0,225863	2,434587	12,28971	0,4987504	0,6550006
0,068234	4,555175	12,43272	0,4364066	0,311719
0,198656	3,660078	12,52279	0,4571879	0,6026568
0,233205	1,829598	12,56747	0,540313	0,5818755
0,172313	1,384897	12,74266	0,8104695	0,4364066
0,138196	4,208012	12,57435	0,3948441	0,540313
0,284597	3,027721	12,69991	0,540313	0,7065631
0,268618	2,375345	12,73921	0,540313	0,6442193
0,099328	4,670274	12,86324	0,4156253	0,3740628
0,213339	3,640003	12,92918	0,4779692	0,6234381
0,214635	4,224702	12,99	0,4987504	0,6234381
0,188723	1,814437	13,0406	0,4571879	0,5610942
0,226295	1,342057	13,39777	0,9143759	0,4364066
0,283301	3,018764	13,17152	0,540313	0,7273444
0,214203	2,359093	13,16937	0,4156253	0,6234381
0,321737	3,714324	13,39984	0,5610942	0,7273444
0,211612	4,333276	13,43814	0,4779692	0,5610942
0,203838	1,76654	13,47119	0,4987504	0,6234381
0,265163	2,358301	13,58793	0,4779692	0,7065631
0,271641	3,047347	13,62303	0,5195317	0,7273444
0,209885	3,709713	13,8446	0,4364066	0,6650006
0,266458	4,33025	13,90701	0,5195317	0,6650006
0,195633	1,745718	13,89299	0,4779692	0,5818755
0,122217	1,317517	13,98579	0,4779692	0,3532815
0,318714	2,365545	14,05303	0,5610942	0,7273444
0,279414	3,053369	14,07431	0,4987504	0,6857818
0,294961	3,686956	14,27323	0,5195317	0,7481257
0,214203	1,710265	14,32147	0,4779692	0,6026568
0,245729	4,335762	14,381	0,4987504	0,6442193
0,117466	1,270637	14,46888	0,5195317	0,3740628
0,304462	2,335726	14,52012	0,4987504	0,7481257
0,286756	3,03685	14,56676	0,540313	0,7065631
0,286756	3,730926	14,73517	0,5195317	0,7896882
0,230182	1,68336	14,75817	0,4779692	0,6650006

ES 2 539 118 T3

Área (Valores)	Centro-X (Valores)	Centro-Y (Valores)	Altura recuadro (Valores)	Anchura recuadro (Valores)
0,149424	4,341243	14,82161	0,3740628	0,6442193
0,066938	1,246608	14,85552	0,3325003	0,2909377
0,294961	2,381174	14,96035	0,4364066	0,8104695
0,096737	3,077669	14,91742	0,2285939	0,5195317
0,222409	3,699388	15,12868	0,4364066	0,7065631
0,255662	1,6843	15,1944	0,4779692	0,6650006
0,261708	4,378435	15,21638	0,4571879	0,6857818
0,323896	3,043209	15,29473	0,5195317	0,7481257
0,268618	2,339129	15,3906	0,4779692	0,7065631
0,286324	3,745769	15,55802	0,540313	0,7481257
0,217658	1,67182	15,62067	0,4364066	0,6857818
0,248752	4,395491	15,66323	0,4779692	0,6857818
0,284597	3,03211	15,77229	0,4779692	0,768907
0,284165	2,302552	15,82717	0,4987504	0,7065631
0,30619	3,722485	16,01429	0,540313	0,7896882
0,267754	1,627206	16,05178	0,4987504	0,6857818
0,224136	4,404508	16,1036	0,4571879	0,6857818
0,277255	2,97389	16,20744	0,4571879	0,7273444
0,298416	2,283203	16,29441	0,5195317	0,7065631
0,302303	3,678225	16,46508	0,4987504	0,768907
0,245297	1,649915	16,50428	0,4364066	0,6857818
0,231478	4,360732	16,52727	0,4779692	0,6857818
0,288051	2,968419	16,64757	0,4571879	0,768907
0,313531	2,292294	16,81439	0,5818755	0,6442193
0,251343	3,654504	16,91049	0,4571879	0,7065631
0,256094	1,662221	16,93386	0,4571879	0,768907
0,266026	4,314239	16,95259	0,4987504	0,6857818
0,297984	2,953018	17,08801	0,4571879	0,8312507
0,323464	2,278753	17,41556	0,6026568	0,6857818
0,237092	3,672001	17,32499	0,4364066	0,7065631
0,237524	1,659025	17,3442	0,4571879	0,6857818
0,241842	4,308105	17,3977	0,4571879	0,6650006
0,307053	2,982214	17,52746	0,4571879	0,7896882
0,320873	3,676914	17,79629	0,5818755	0,7481257
0,236228	1,64776	17,77322	0,4779692	0,6650006
0,263867	4,302879	17,87162	0,5195317	0,6442193
0,349808	2,273907	17,97672	0,5610942	0,7273444
0,302303	2,975224	17,98895	0,4779692	0,7481257
0,256094	1,625249	18,23281	0,4779692	0,6857818
0,253071	3,613564	18,26659	0,4779692	0,7273444

ES 2 539 118 T3

Área (Valores)	Centro-X (Valores)	Centro-Y (Valores)	Altura recuadro (Valores)	Anchura recuadro (Valores)
0,270345	4,220988	18,40032	0,5818755	0,6234381
0,251775	2,927628	18,42703	0,4364066	0,7273444
0,295393	2,247749	18,49347	0,4987504	0,7065631
0,26689	1,606412	18,71585	0,4987504	0,6550006
0,246593	3,633446	18,68494	0,4571879	0,7273444
0,297121	2,948403	18,8545	0,4779692	0,7481257
0,169721	4,102952	19,00862	0,6026568	0,4156253
0,079031	4,379624	19,01361	0,5818755	0,2493752
0,301871	2,256744	18,97416	0,4987504	0,768907
0,261708	3,600818	19,1261	0,4779692	0,7273444
0,254366	1,615011	19,20775	0,4987504	0,6442193
0,329078	2,938204	19,35382	0,5195317	0,7481257
0,332965	2,25311	19,48153	0,540313	0,768907
0,307485	4,207798	19,5716	0,5818755	0,6650006
0,279846	3,586629	19,6036	0,4987504	0,7065631
0,282005	1,627144	19,72957	0,540313	0,7273444
0,283733	2,921713	19,85443	0,4779692	0,7273444
0,285892	2,266194	19,9934	0,5195317	0,7273444
0,225	4,141775	20,08332	0,5195317	0,5610942
0,318282	3,552779	20,10986	0,5610942	0,7065631
0,24357	1,65749	20,23631	0,4779692	0,6442193
0,361468	2,936688	20,39141	0,5818755	0,7481257
0,302303	2,299714	20,50508	0,540313	0,7273444
0,356285	4,079502	20,64295	0,7273444	0,6857818
0,174904	3,517935	20,61435	0,4571879	0,4987504
0,305326	1,697186	20,72251	0,5610942	0,7896882
0,209885	4,618915	20,90527	0,5818755	0,5195317
0,346785	2,993952	20,9633	0,6234381	0,7273444
0,229318	2,382175	21,01135	0,5195317	0,5818755
0,289779	3,653756	21,09274	0,5610942	0,7481257
0,209885	1,804934	21,20514	0,4156253	0,7273444
0,170153	4,246183	21,26593	0,540313	0,4987504
0,104079	4,687254	21,40307	0,4987504	0,3325003
0,141219	3,057642	21,39752	0,3532815	0,5610942
0,16929	2,487814	21,43778	0,3948441	0,5610942
0,386084	3,732702	21,6078	0,5818755	0,852032
0,335556	1,802353	21,66194	0,5818755	0,8104695
0,278119	4,368778	21,80632	0,6650006	0,6234381
0,333397	3,063003	21,84927	0,6234381	0,6650006
0,335988	2,45868	21,93161	0,6442193	0,7065631

Área (Valores)	Centro-X (Valores)	Centro-Y (Valores)	Altura recuadro (Valores)	Anchura recuadro (Valores)
0,392994	3,724163	22,17994	0,6026568	0,852032
0,275527	1,806928	22,22889	0,6234381	0,7481257
0,183541	4,285489	22,3935	0,5818755	0,5818755
0,330374	3,027274	22,46846	0,7065631	0,6234381
0,376583	2,430455	22,59376	0,7273444	0,7273444
0,358877	3,584681	22,75564	0,6442193	0,8312507
0,249616	1,921764	22,83297	0,6234381	0,7273444
0,214203	4,102499	22,94545	0,6442193	0,6026568
0,112716	1,482317	23,04714	0,4987504	0,6857818
0,281142	2,714908	23,10937	0,6026568	0,768907
0,32951	3,393883	23,25805	0,5610942	0,8728133

- Se pueden determinar otras características basadas en el procesamiento de imagen incluyendo, pero no limitadas al color de la mazorca (como densidad de rojo, azul, verde), color del grano (como densidad de rojo, azul, verde), porcentaje de daño resultante de *Fusarium verticillioides*, *Diplodia maydis*, *Ustilago maydis*, *Agrotis ipsilon*, *Blissus leucopterus*, *Agramyza parvicorreis* y/u otras enfermedades y/o insectos, contenido en almidón del grano, patrón de relleno de grano (como regular o irregular), textura del grano, cualquiera de las características anteriores dentro de la variación de la parcela, pendiente lineal del área de distribución del grano, pendiente exponencial del área de distribución del grano, anillo crítico de grano del área de distribución del grano, y recuento de los anillos del grano totales del área de distribución del grano.
- 5
- Las FIG.24A-24L ilustran un ejemplo de un proceso. La FIG 24A ilustra porciones de una imagen original de una mazorca fotografiada bajo condiciones de iluminación controladas. Se indican dos vistas de la original, con la imagen izquierda mostrada al 50% de tamaño y la imagen derecha mostrada al 100% de tamaño.
- 10
- La FIG. 24B ilustra los resultados del procesamiento de la imagen indicados en la FIG. 24A. En la FIG. 24B se ha eliminado el fondo y se ha reemplazado por coloración negra. El propósito de esta etapa es eliminar los elementos inadvertidamente seleccionados en el fondo e incluir estos elementos en el análisis.
- 15
- La FIG. 24C ilustra los resultados de un procesamiento adicional. En la FIG. 24C se han aplicado filtros de circunvolución 3D de alto-gauss verticales y horizontales seguido de filtros Morfológicos Abiertos y de perfil de sombrero de copa. El propósito del filtrado es aumentar el contraste entre granos adyacentes. Por supuesto se pueden emplear otras técnicas de filtrado.
- 20
- La FIG. 24D ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Se aplicó un filtro morfológico 3D de línea divisoria para generar los resultados indicados. El propósito de dicho filtro es separar los granos igual de bien de la base y de la punta de la mazorca. Por supuesto se pueden emplear otras técnicas de filtrado.
- 25
- La FIG. 24E ilustra la creación de una máscara a partir de la selección de Recuento/Tamaño de la coloración en negro que separa los granos. El propósito de tal etapa es facilitar la aplicación o eliminación de las líneas que separan los granos.
- 30
- La FIG. 24F ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Hay un Deshacer de filtros en la imagen original seguido de la aplicación de un filtro de circunvolución 3D de bajo paso. El propósito de la etapa es identificar la localización espacial, longitud, y anchura de cada mazorca para el uso en la creación automática de un área de interés (ADI).
- 35
- La FIG. 24G ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Hay una aplicación de Operaciones de Imagen de la máscara a la imagen, seguida de la creación automática de ADI para cada mazorca y una carga de la paleta de color para los colores presentes en los granos. El propósito de tal etapa es generar datos por área de grano y dimensiones para calcular KERARE, KERSHA y características de la distribución del grano.
- La FIG. 24H ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Hay creación automática de ADI para incluir toda la mazorca y carga de la paleta de color para los colores presentes en los granos. El propósito de esta etapa es generar el recuento de grano para todos los granos visibles en imagen para calcular KEREAR.
- La FIG. 24I ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Se puede realizar el filtrado Recuento/Tamaño en el área de grano mayor que 450 píxeles (u otro tamaño). El propósito de tal etapa es localizar la división entre los granos llenos y los abortados.

- La FIG. 24J ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Un deshacer de aplicación de la máscara seguido de la creación automática de ADI con la punta colocada en la posición máxima del eje-y de los granos llenos y la selección de la paleta de colores de colores presentes en los granos. El propósito de tal etapa es generar el área de la sección de mazorca de granos llenos para el uso en el cálculo de SCTTER, KERFIL y YIELD.
- 5 La FIG. 24K ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Se realiza la selección de la paleta de colores de colores presentes en los granos y la mazorca de maíz. El propósito es generar la longitud de la sección de mazorca de granos llenos con la mazorca de maíz y el área de la sección de mazorca de granos llenos con la mazorca de maíz para el uso en el cálculo de TKERAB y SCTTER.
- 10 La FIG. 24L ilustra los resultados de un procesamiento adicional. Se realiza una creación automática de ADI que incluye toda la mazorca y una selección de la paleta de colores de colores presentes en los granos y la mazorca de maíz. El propósito de esta etapa es generar la longitud, dimensiones y área de toda la mazorca de maíz para el uso en el cálculo de EARLGT, KERFIL, TKERAB, y EARSHA.
- 15 La FIG. 25 ilustra un ejemplo de procedimiento de post-procesamiento para datos del área de un grano individual. Los granos se asignan a anillos (filas horizontales) y la distribución de las áreas mediana desde la base de la mazorca hasta la punta se ajusta a un modelo de palo roto. El punto de ruptura se denomina el anillo crítico de grano y las pendientes antes y después de la ruptura se generan como las pendientes lineal y exponencial, respectivamente.
- 20 La FIG. 26 es un gráfico de 1.500 parcelas de líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés de floración (promedios marcados de 5 mazorcas). El gráfico indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente al recuento de granos por mazorca determinados manualmente y una regresión lineal calculada.
- La FIG. 27 es un gráfico que indica los promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés. El gráfico indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente al recuento de granos por mazorca determinados manualmente y una regresión cuadrática simple calculada.
- 25 La FIG. 28 es un gráfico de 1.500 líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés (promedios marcados de 5 mazorcas). El gráfico indica el área de granos llenos frente al rendimiento promedio por mazorca en gramos así como una regresión lineal calculada.
- La FIG.29 es un gráfico que indica los promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite cultivadas bajo estrés. El gráfico indica el área de granos llenos frente al rendimiento promedio por mazorca en gramos así como una regresión lineal calculada.
- 30 La FIG. 30 es un gráfico de medidas de 630 mazorcas individuales de híbridos comerciales crecidos bajo estrés. El gráfico indica el área de granos llenos frente al rendimiento de cada mazorca individual en gramos así como una regresión cuadrática simple calculada.
- La FIG. 31 es un gráfico de medidas de 630 mazorcas individuales de híbridos comerciales crecidos bajo estrés. El gráfico indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente al recuento de granos por mazorca determinados manualmente y una regresión cuadrática simple calculada.
- 35 La FIG. 32 es un gráfico de 287 parcelas de híbridos comerciales crecidos bajo tres tratamientos de riego (promedios marcados de 10 mazorcas). El gráfico indica el área de granos llenos frente al rendimiento promedio por mazorca en gramos así como una regresión cuadrática simple calculada.
- La FIG.33 es un gráfico de 287 parcelas de híbridos comerciales crecidos bajo tres tratamientos de riego (promedios marcados de 10 mazorcas). El gráfico indica el recuento de granos visibles en una imagen digital frente al recuento de granos por mazorca determinados manualmente y una regresión lineal calculada.
- 40 La FIG. 34 es un gráfico de 1.500 parcelas de líneas de mejoramiento de élite (promedios marcados de 5 mazorcas). El gráfico indica la proporción de plantas reprimidas frente al recuento de granos por área así como una regresión cuadrática simple calculada.
- 45 La FIG. 35 es un gráfico que indica los promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite indicando la proporción de plantas reprimidas frente al rendimiento.
- 50 Las parcelas mostrados en las FIG. 25 a FIG. 35 y las relaciones que pueden determinarse a partir de los datos presentados en estos gráficos (como, pero no limitados a, las regresiones) se pueden incorporar a programas de fitomejoramiento o usar en otras aplicaciones. Tales aplicaciones, incluyen, sin limitación, el estudio de la variación genética de planta a planta, la cuantificación de la variabilidad de planta a planta para la tolerancia al estrés, el daño resultante de *Fusarium verticillioides*, *Diplodia maydis*, *Ustilago maydis*, *Agrotis ipsilon*, *Blissus Leucopterus*, *Agramyza parvicorreis* y/u otras enfermedades y/o insectos, la caracterización del tipo de mazorca para la producción directa (forma y tamaño de la mazorca, forma y tamaño del grano, textura del grano), el esclarecimiento del reparto de carbono dentro de la mazorca a través de los cambios del tamaño de grano desde la base a la punta

- 5 de la mazorca, la cuantificación de granos abortados de la punta, inclinación de la punta, grupo de efectos de dispersión de granos o granos anormales, la medida de respuesta genotípica a la variación micro-ambiental en el campo (proxy para la medición de genotipos a gran escala por efectos del medio ambientales), la prueba de los efectos de la introducción de trans-genes y/o regiones genéticas (locus de características cuantitativas), y la determinación del grado en el que la progenie de un cruce es fenotípicamente similar a cada progenitor. Los métodos de imagen digital proporcionan mediciones cuantitativas de un modo altamente eficiente por lo que se pueden recoger los datos relevantes para el uso en éstas y otras aplicaciones, incluyendo programas de fitomejoramiento, producción o evaluación.

REIVINDICACIONES

1. Un método de evaluación de granos en una mazorca de maíz empleando imágenes digitales, que comprende las etapas de:
- 5 adquirir (40) una imagen digital de la mazorca de maíz a partir de una primera fuente, en donde la imagen digital de la mazorca de maíz (14) se adquiere bajo condiciones de iluminación controladas;
- 10 procesar (42) la imagen digital para determinar estimaciones de propiedades físicas de la mazorca de maíz (14) a partir de la imagen digital, en donde las propiedades físicas incluyen propiedades físicas suficientes para determinar un rendimiento por mazorca, incluyendo determinar una estimación de los granos por mazorca en donde el procesamiento (42) incluye la identificación de cada grano en la mazorca de maíz, en donde la identificación de cada grano en la mazorca de maíz (14) se realiza aplicando un filtro de borde y un filtro espectral; y
- evaluar (46) la mazorca de maíz (14) a partir de la primera fuente usando las estimaciones de las propiedades físicas de la mazorca de maíz (14).
2. El método de la reivindicación 1 en donde la etapa de procesamiento (42) incluye extraer de un área de grano lleno a partir de la mazorca de maíz (14) empleando una paleta de color predeterminada y aplicando un filtro a la imagen digital para realzar un centro de cada uno de los granos en la mazorca de maíz (14), en donde opcionalmente la etapa de procesamiento incluye además recuento del número de granos en la mazorca de maíz (14) representados en la imagen digital.
3. El método de la reivindicación 1 en donde las propiedades físicas comprenden además:
- (a) un área de grano lleno; o
- 20 (b) un tamaño de grano.
4. El método de la reivindicación 1 en donde la etapa de evaluación (46) incluye comparar la mazorca de maíz (14) en relación a otras mazorcas de maíz de una misma parcela.
5. El método de la reivindicación 1 en donde la primera fuente es una primera parcela y en donde la etapa de evaluación incluye comparar la mazorca de maíz (14) en relación con otras mazorcas de maíz de al menos una parcela adicional.
- 25 6. El método de la reivindicación 1 en donde la evaluación (46) incluye:
- examen de la tolerancia al estrés,
- en donde las propiedades físicas incluyen una proporción de granos abortados en la mazorca; o una distribución del tamaño de grano dentro de la mazorca.
- 30 7. El método de la reivindicación 2, en donde la paleta de color predeterminada está relacionada con las condiciones controladas de iluminación o con un patrón de color colocado en la imagen digital.
8. El método de la reivindicación 3, en donde las propiedades físicas comprenden granos por mazorca y dicho método comprende además:
- (a) comparar (44) los granos por mazorca con el número de granos físicos contado manualmente; o
- 35 (b) proporcionar a un usuario un resultado relacionado con los granos por mazorca.
9. El método de la reivindicación 1, en donde la evaluación (46) comprende determinar al menos una característica a partir de propiedades físicas.
10. El método de la reivindicación 9, en donde:
- (a) al menos una característica incluyendo al menos una de porcentaje de la longitud de la mazorca afectada por el aborto de granos, porcentaje de área de mazorca perdida debida a la dispersión del grano, porcentaje del área total de la mazorca con granos llenos, área promedio por grano, forma de grano promedio, forma de la mazorca, número de granos totales por mazorca, y proporción de plantas reprimidas;
- 40 (b) las propiedades físicas incluyen al menos una de longitud del grano lleno de la mazorca, anchura de grano lleno de la mazorca, área de grano lleno de la mazorca, área de grano lleno de la mazorca más longitud de la mazorca de maíz, anchura del grano lleno de la mazorca más la mazorca de maíz, área de grano lleno de la mazorca más la mazorca de maíz, color de la mazorca, forma de la mazorca, densidad de color de la mazorca, área de grano, color de grano, forma del grano, recuento de granos llenos, recuento de granos abortados, longitud de grano, anchura del grano, localización del grano en la imagen, longitud de la mazorca de granos llenos, longitud de la mazorca de granos llenos y abortados, área de la mazorca de granos llenos y abortados, área de la mazorca de
- 45

granos abortados, área de evidencia de enfermedad, área de daño resultante de enfermedad, y área de daño resultante de los insectos; o

(c) dicho método comprende además la incorporación de al menos una característica en un programa de fitomejoramiento.

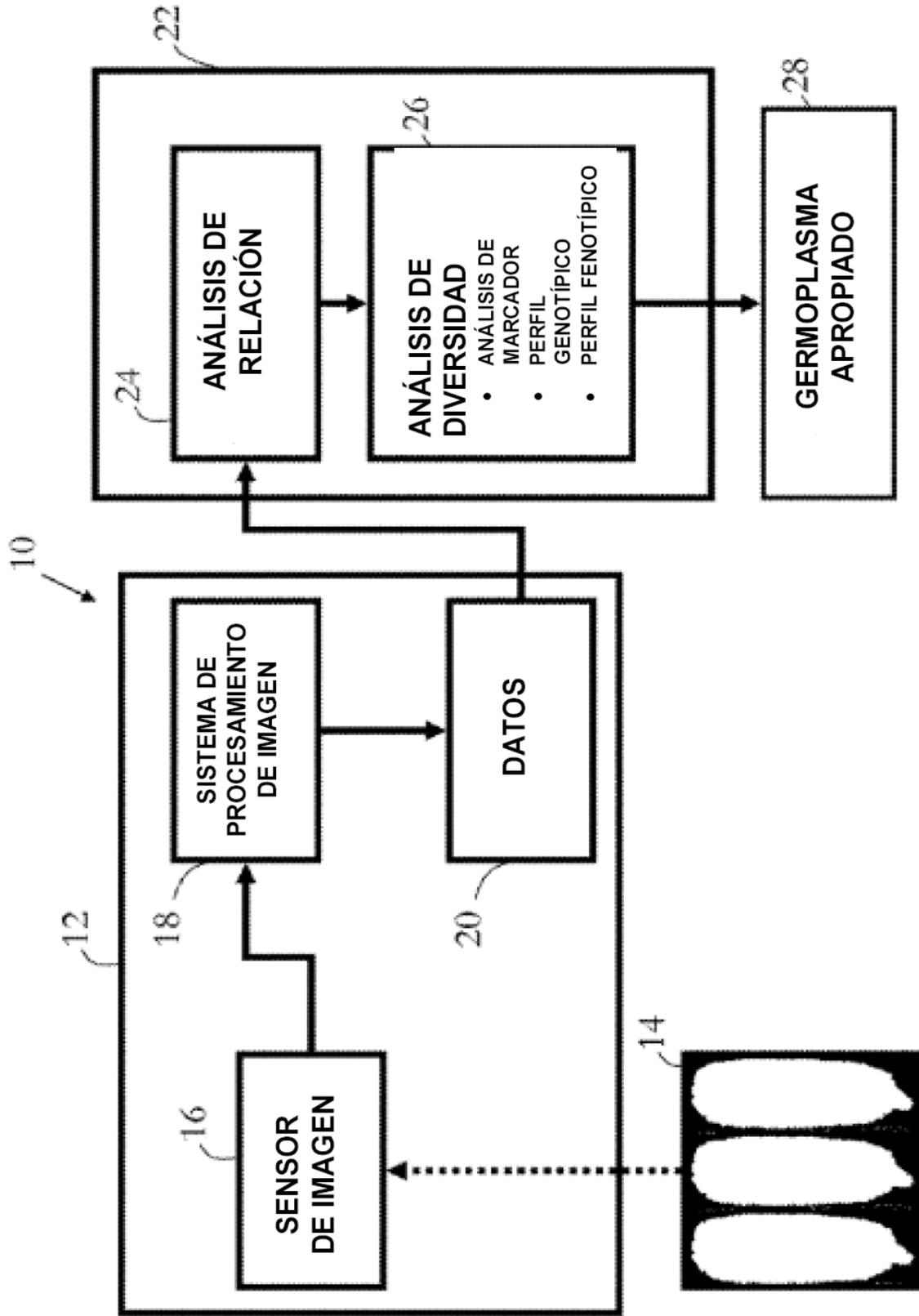
5 **11.** El método de la reivindicación 9, en donde la al menos una característica es una característica de interés en un programa de fitomejoramiento, en donde opcionalmente la etapa de incorporación de al menos una característica en el programa de fitomejoramiento comprende:

(a) producir una línea endogámica que exprese la al menos una característica; o

(b) producir un híbrido que exprese la al menos una característica.

10 **12.** El método de la reivindicación 11, en donde al menos una característica comprende la tolerancia al estrés.

13. El método de la reivindicación 1, en donde la adquisición (40) de la imagen digital de al menos un grano de maíz se realiza dentro de un campo.



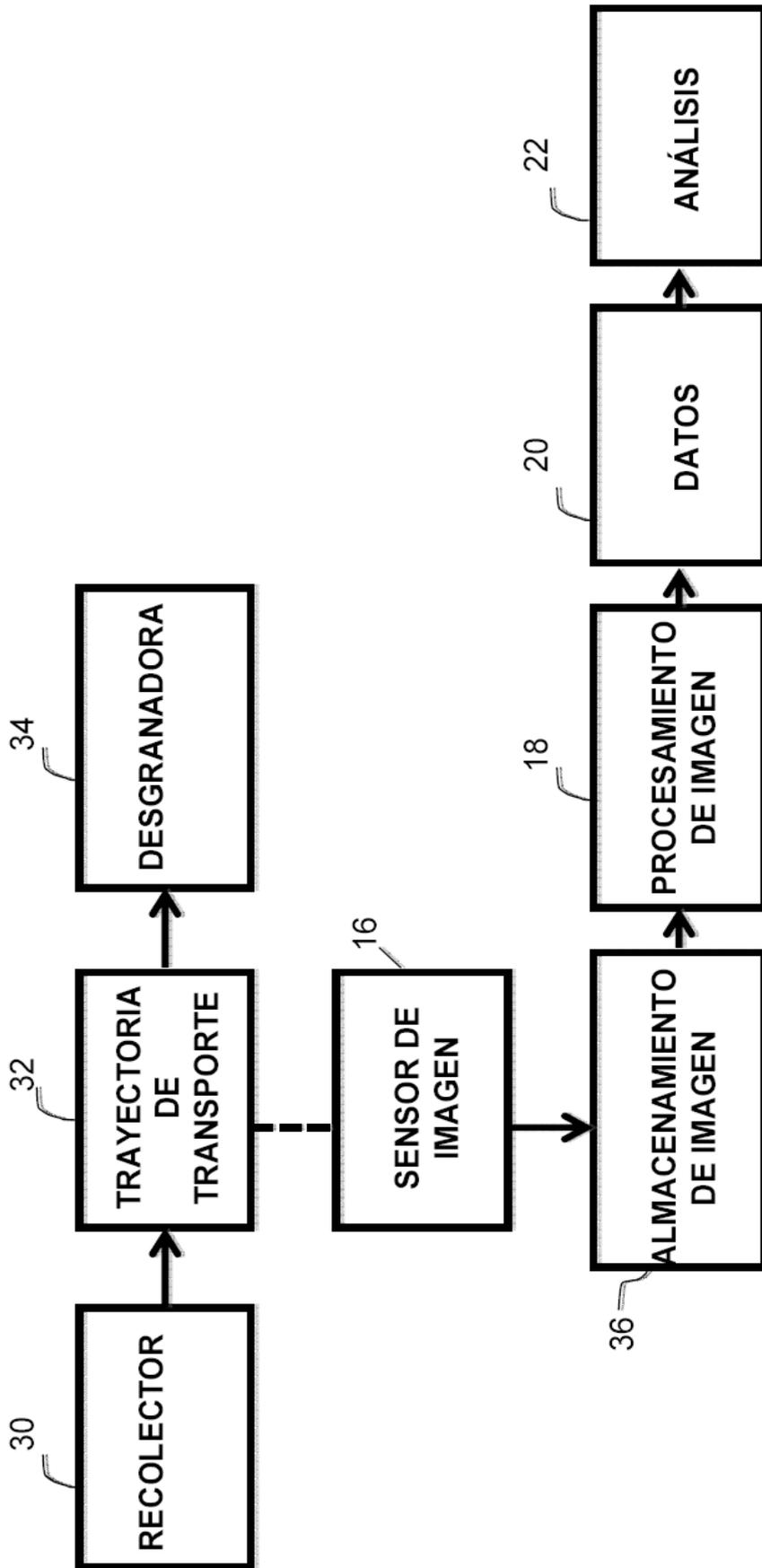


FIG.2



IMAGEN ORIGINAL

FIG.3

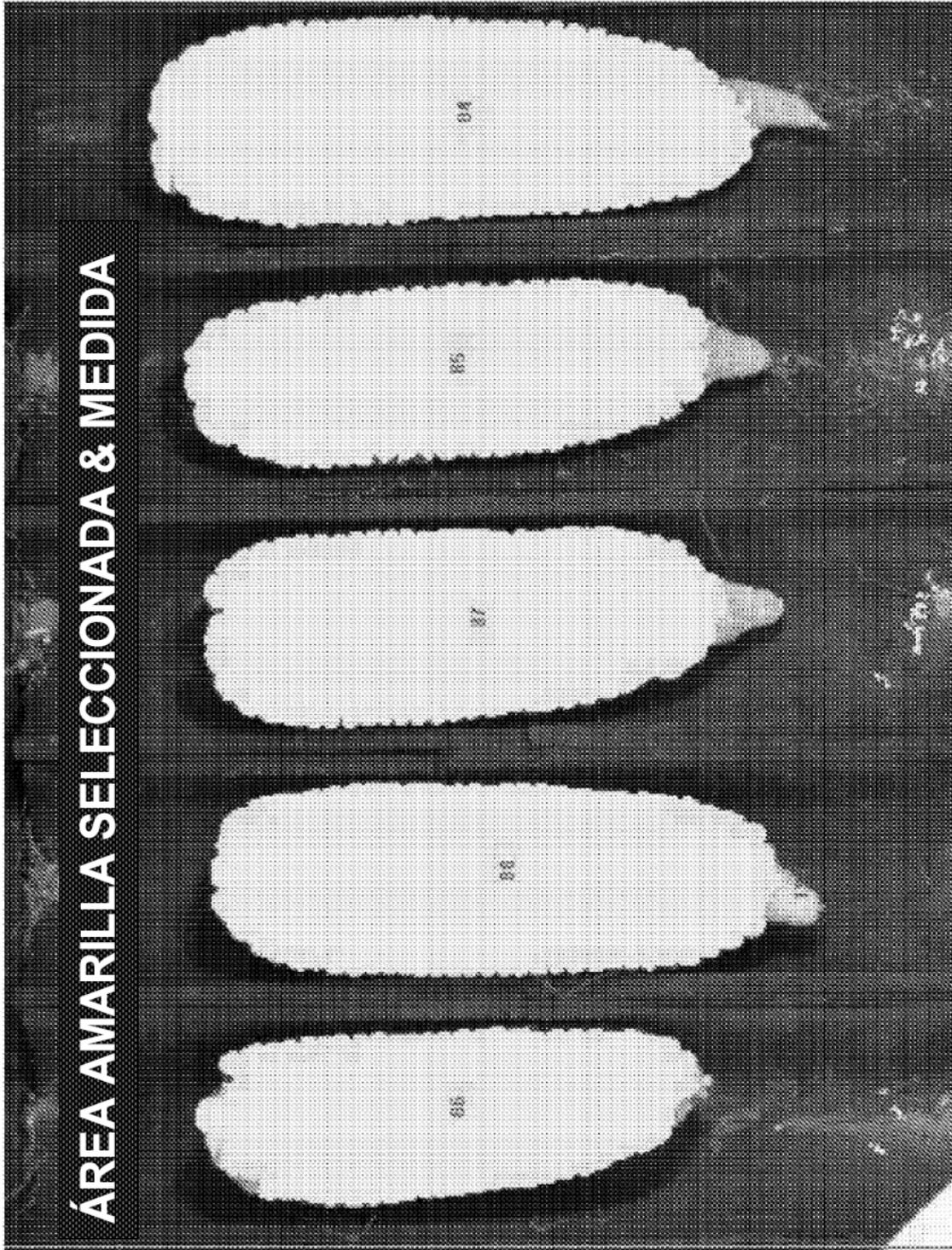


FIG.4

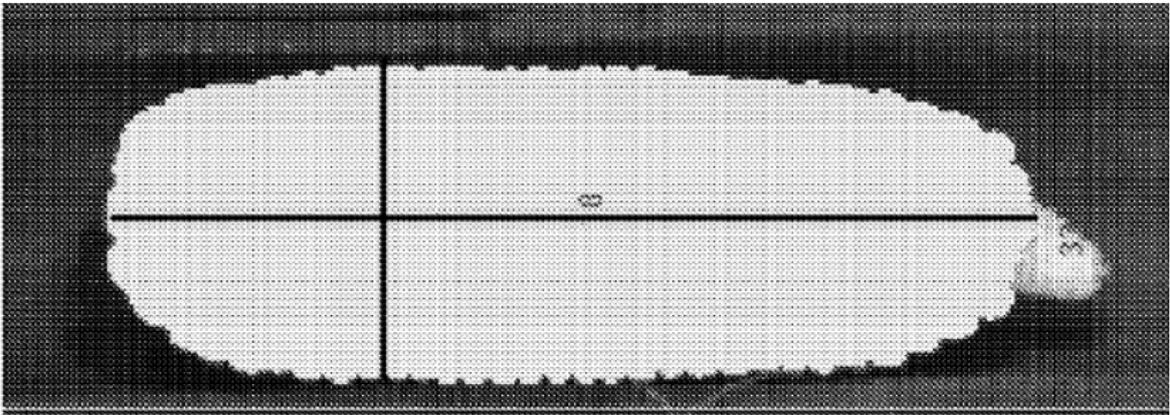


FIG.5



FIG.6

FIG.7



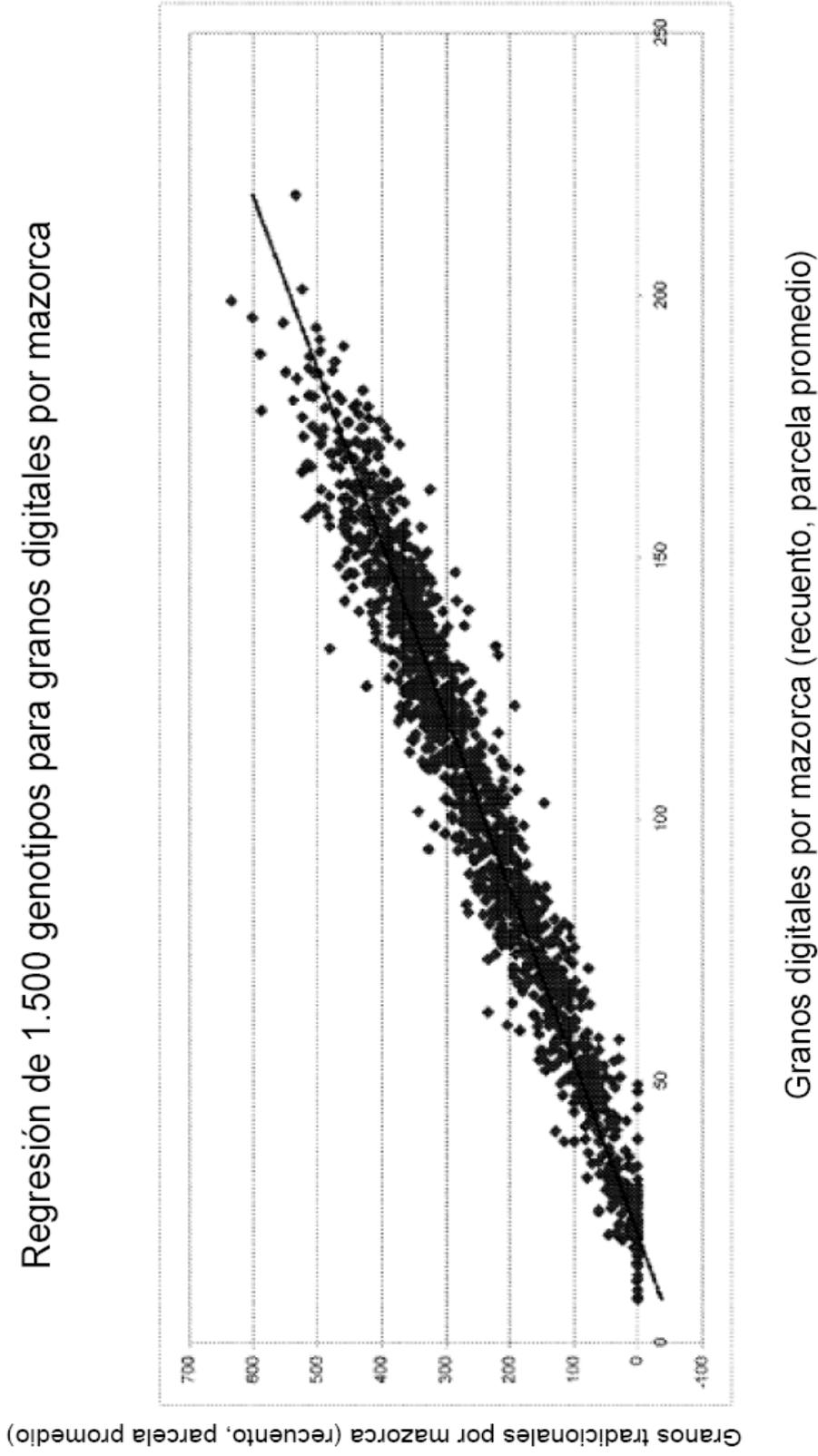


FIG.8

Regresión de 630 mazorcas individuales para el rendimiento frente al área amarilla digital

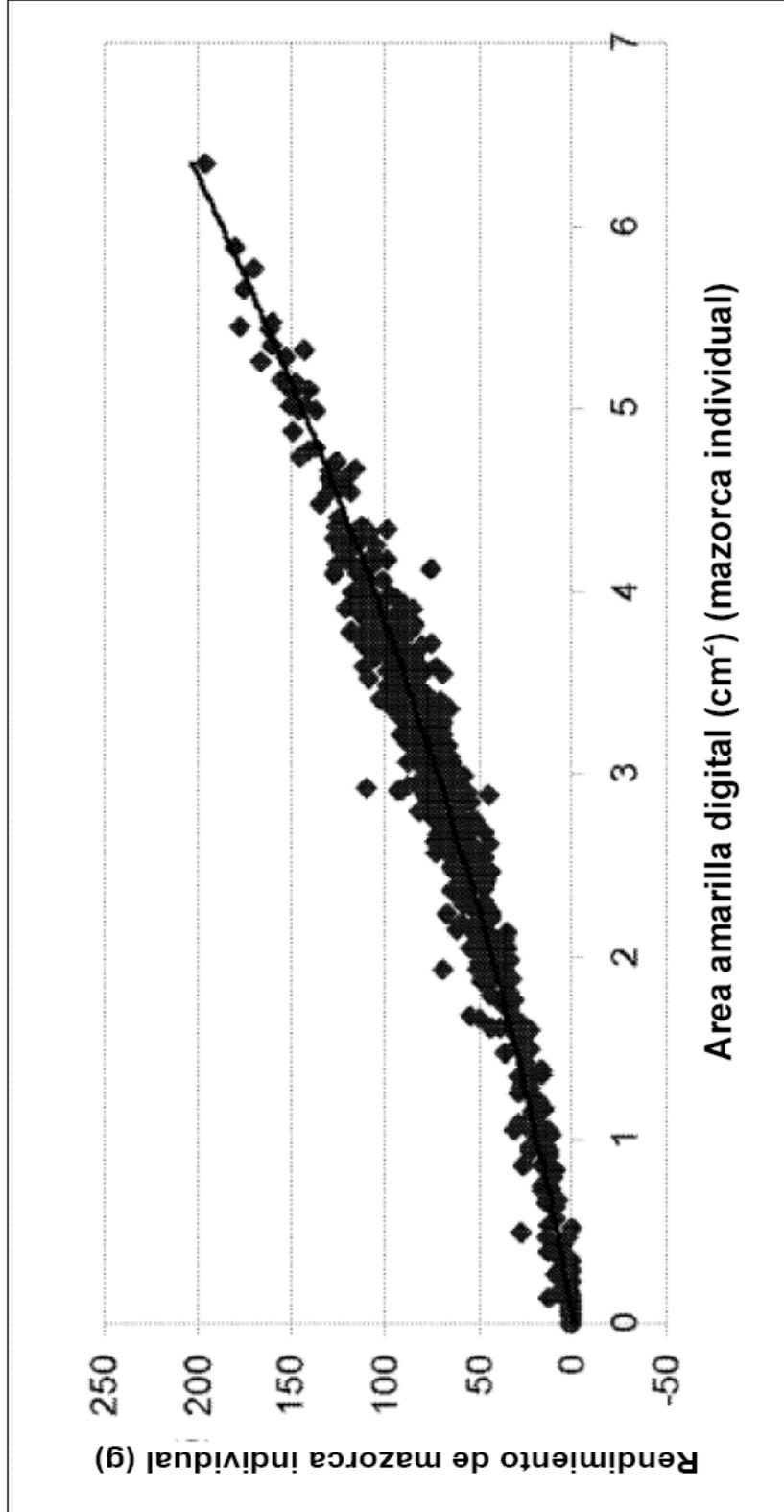


FIG.9

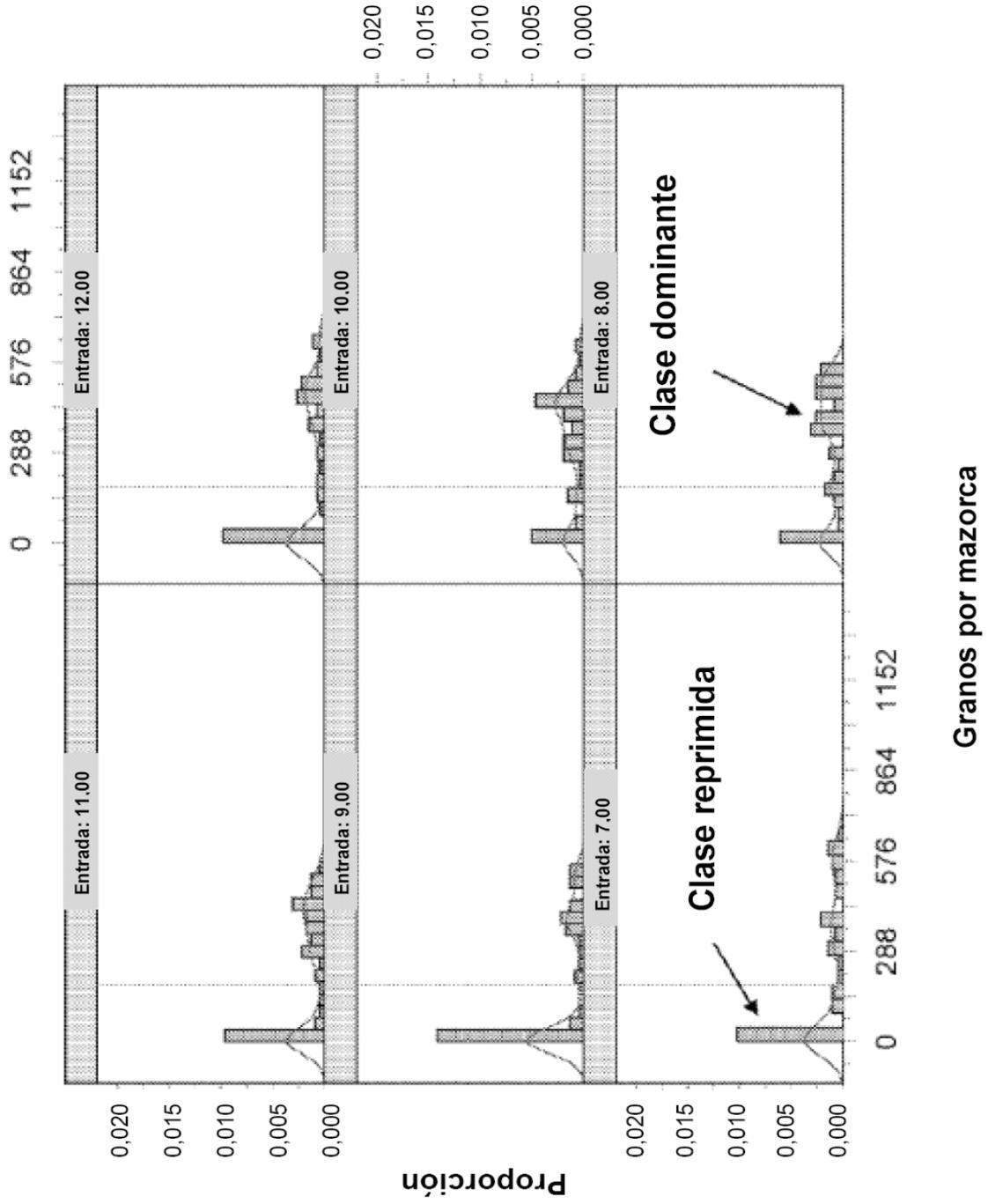


FIG.10

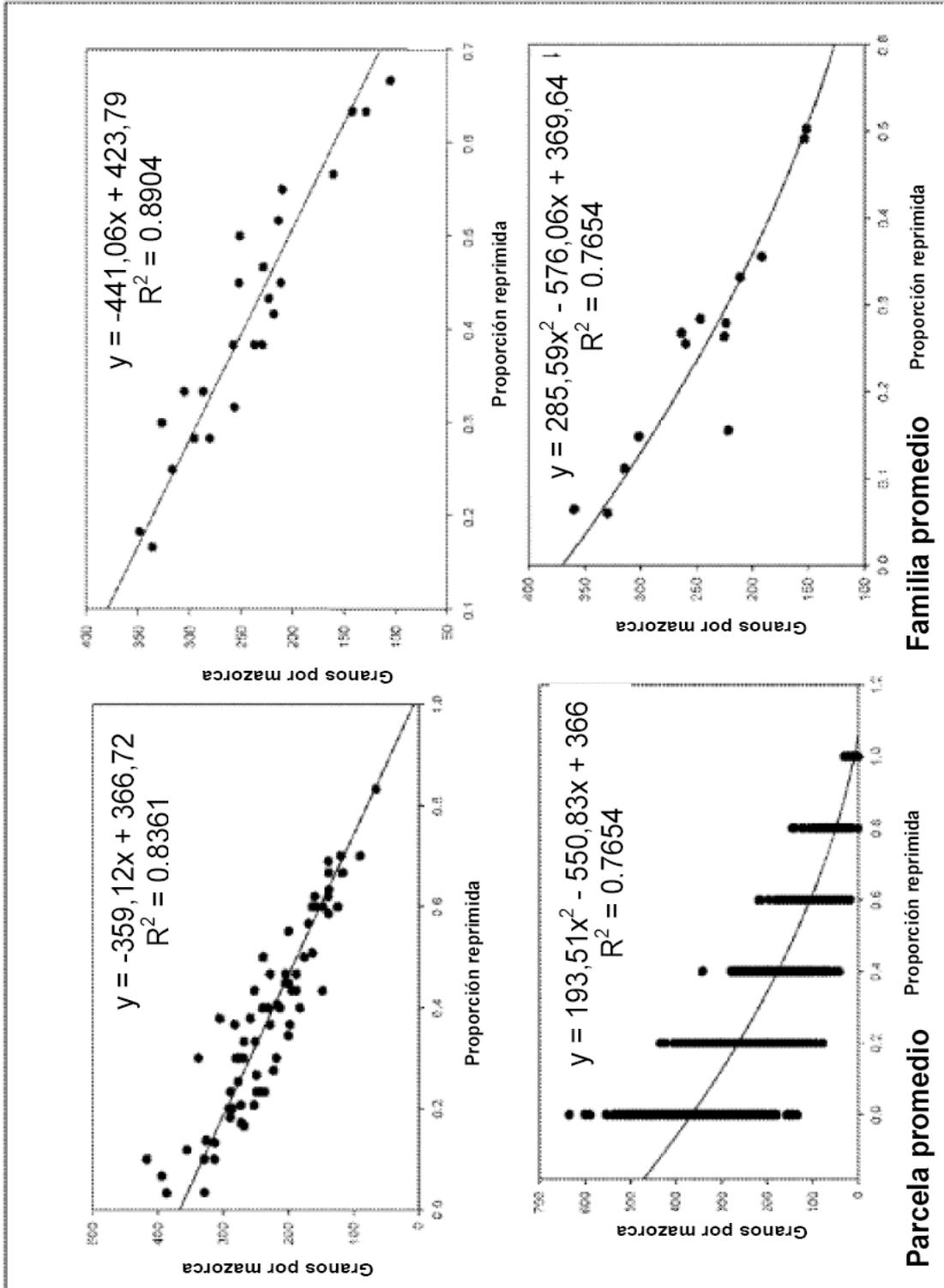


FIG.11

Gráfico que ilustra granos por mazorca

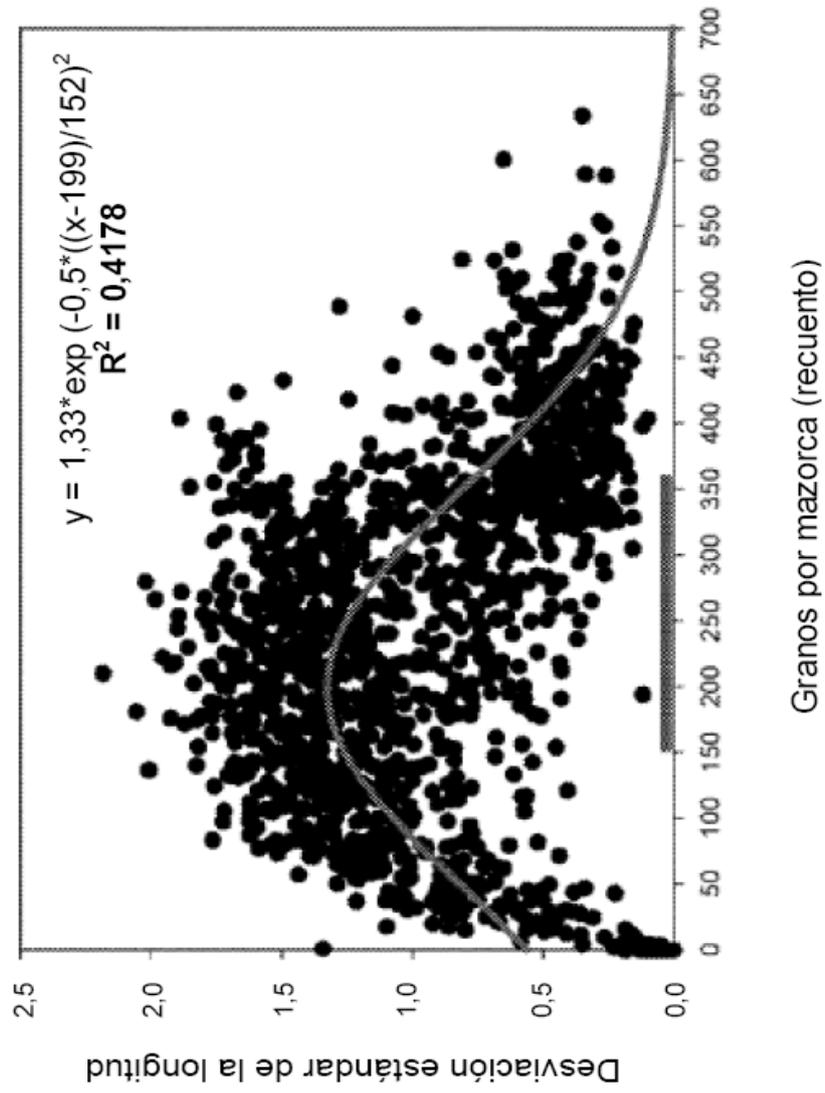


FIG.12

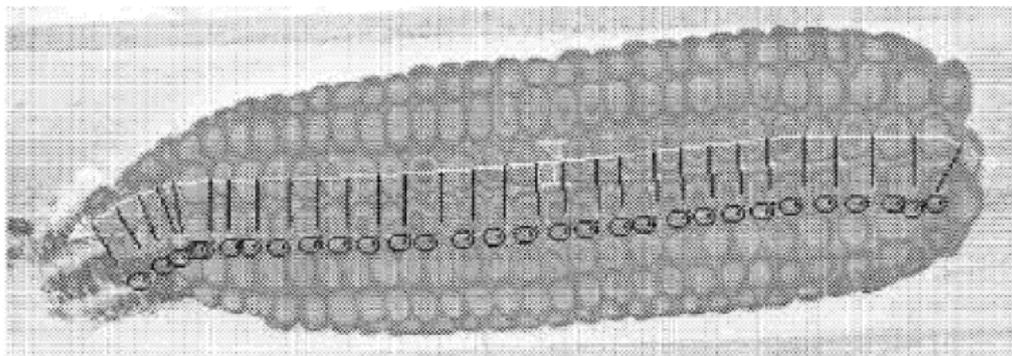


FIG. 13

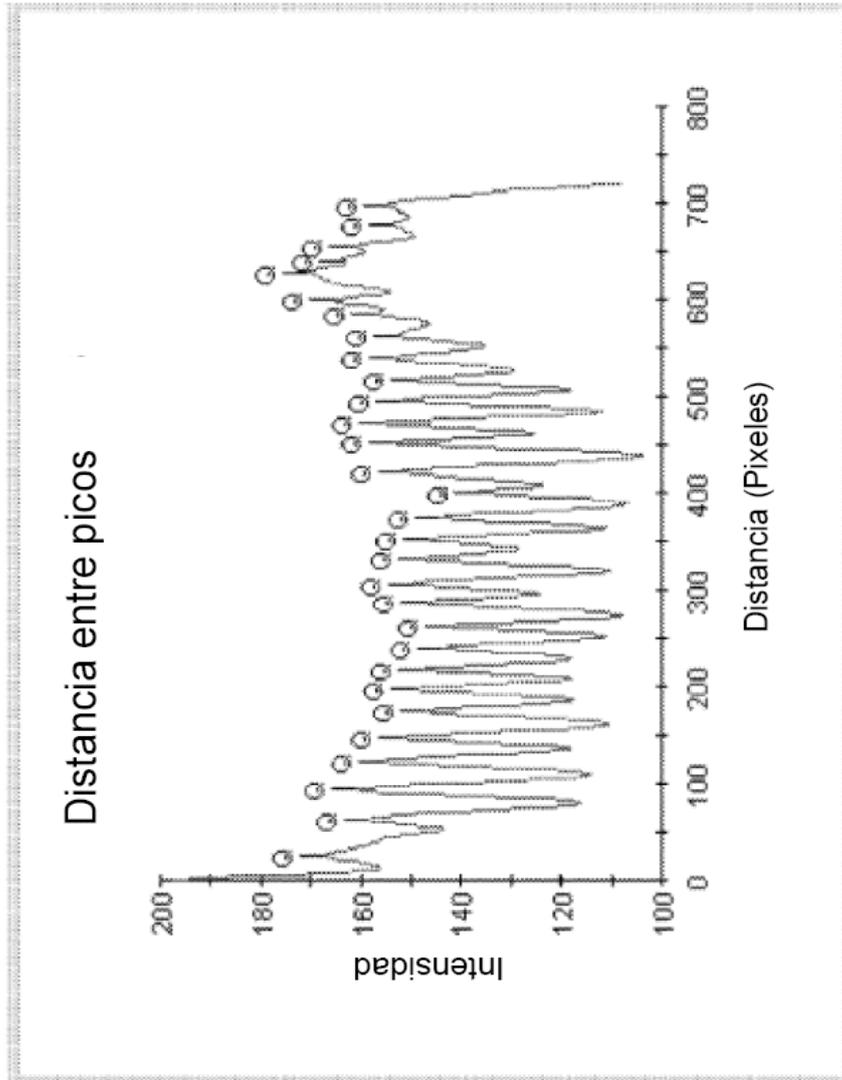


FIG. 14

Distribuciones del tamaño de grano dentro de una mazorca

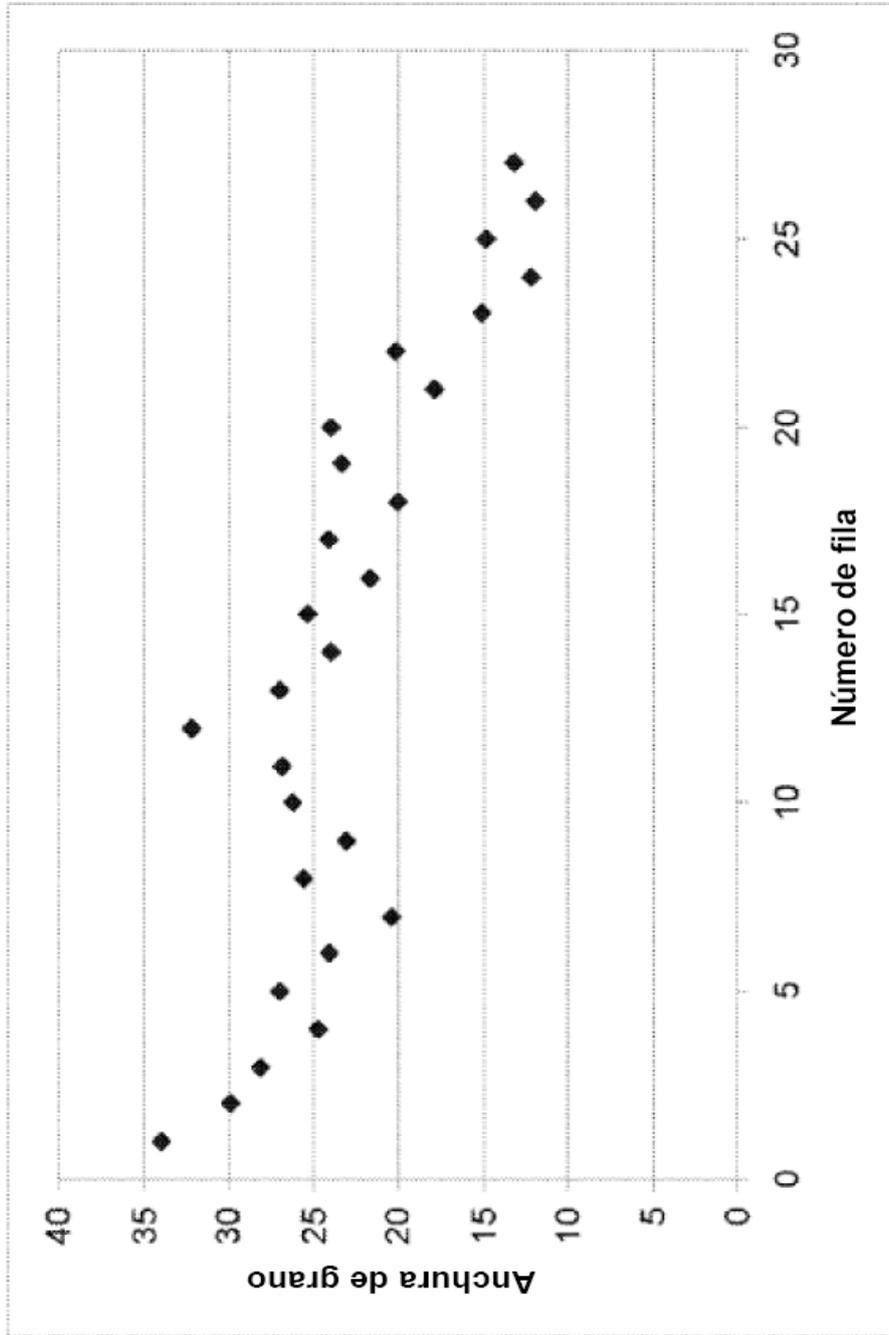


FIG. 15



FIG. 16

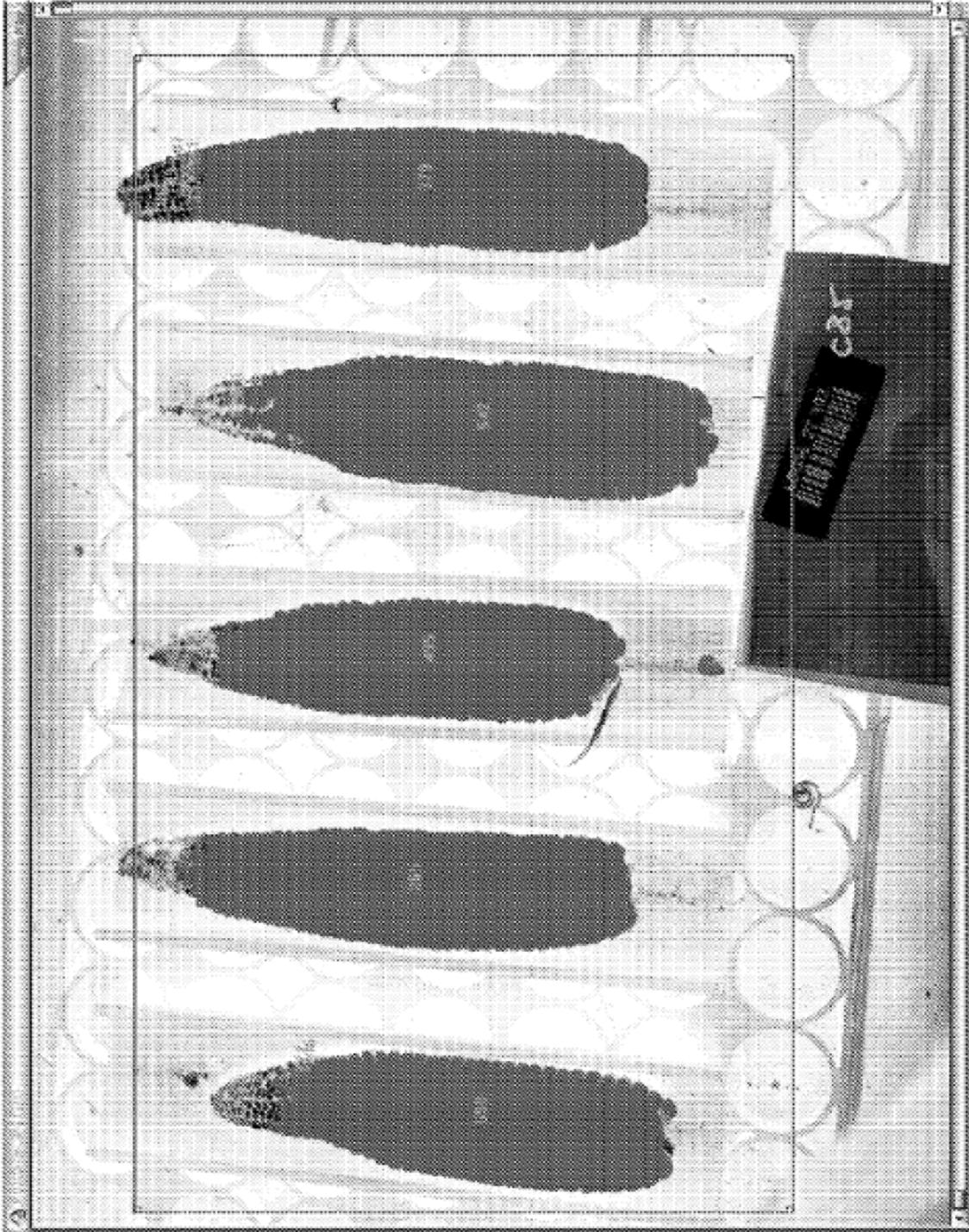


FIG. 17

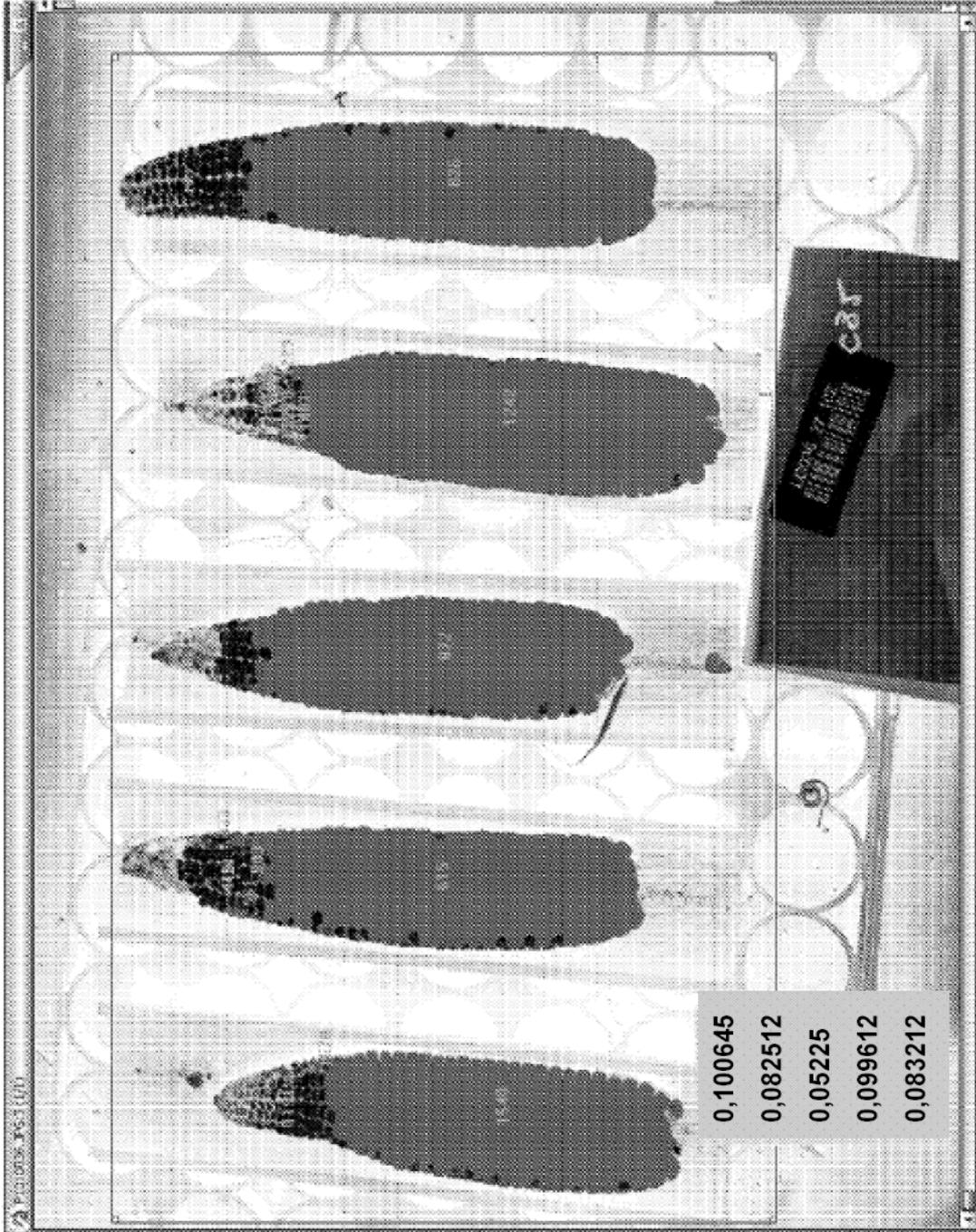


FIG. 18

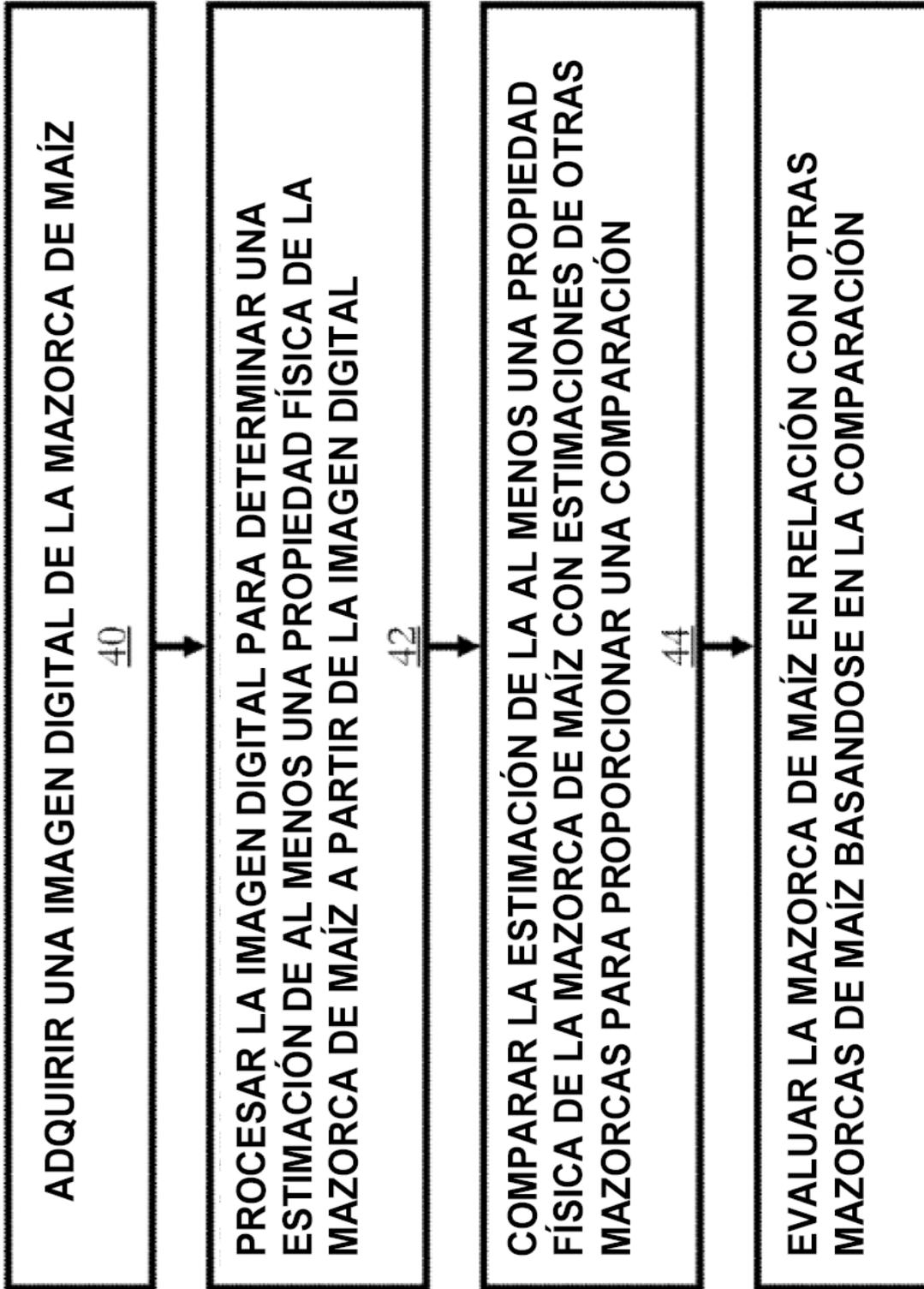


FIG. 19

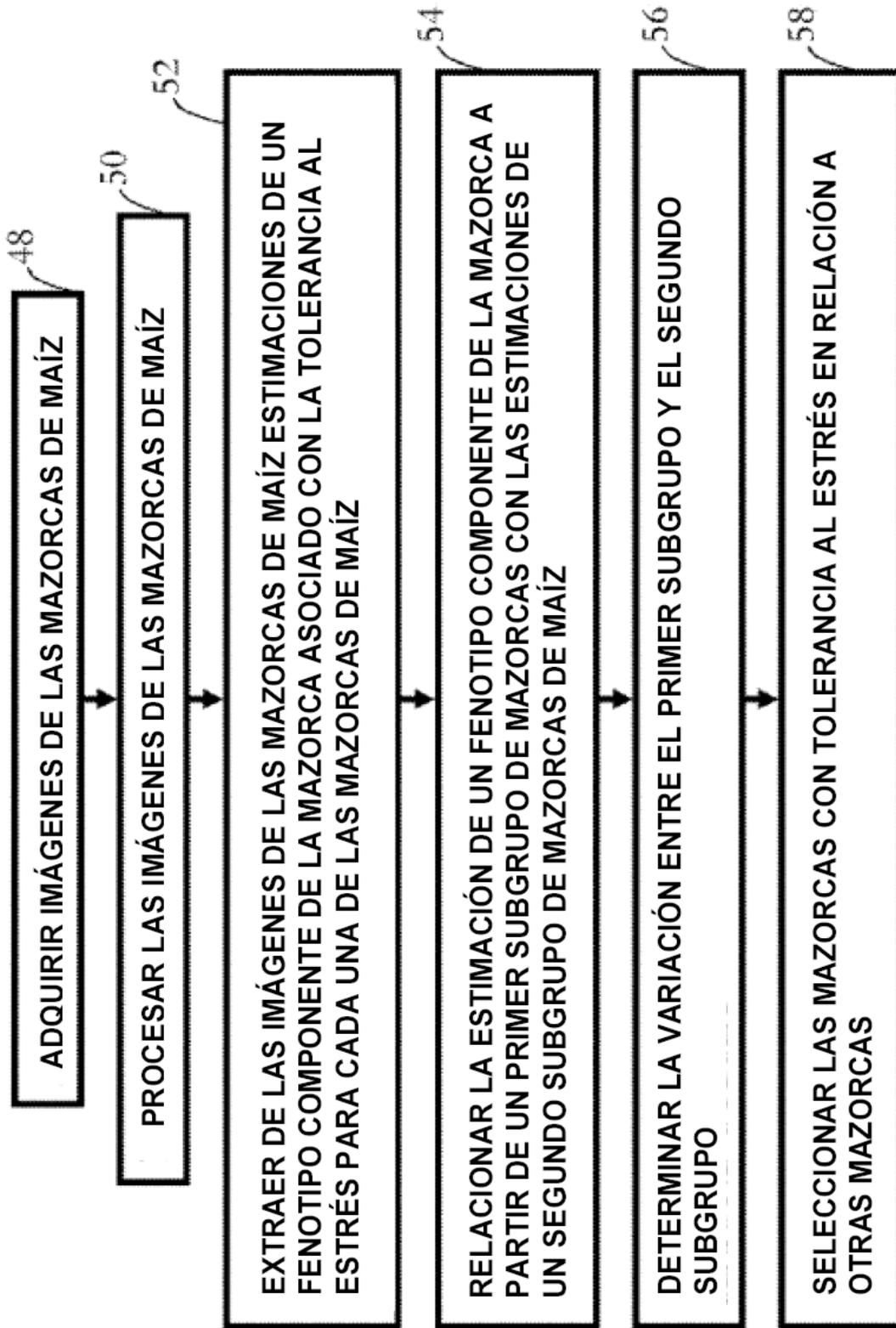


FIG. 20

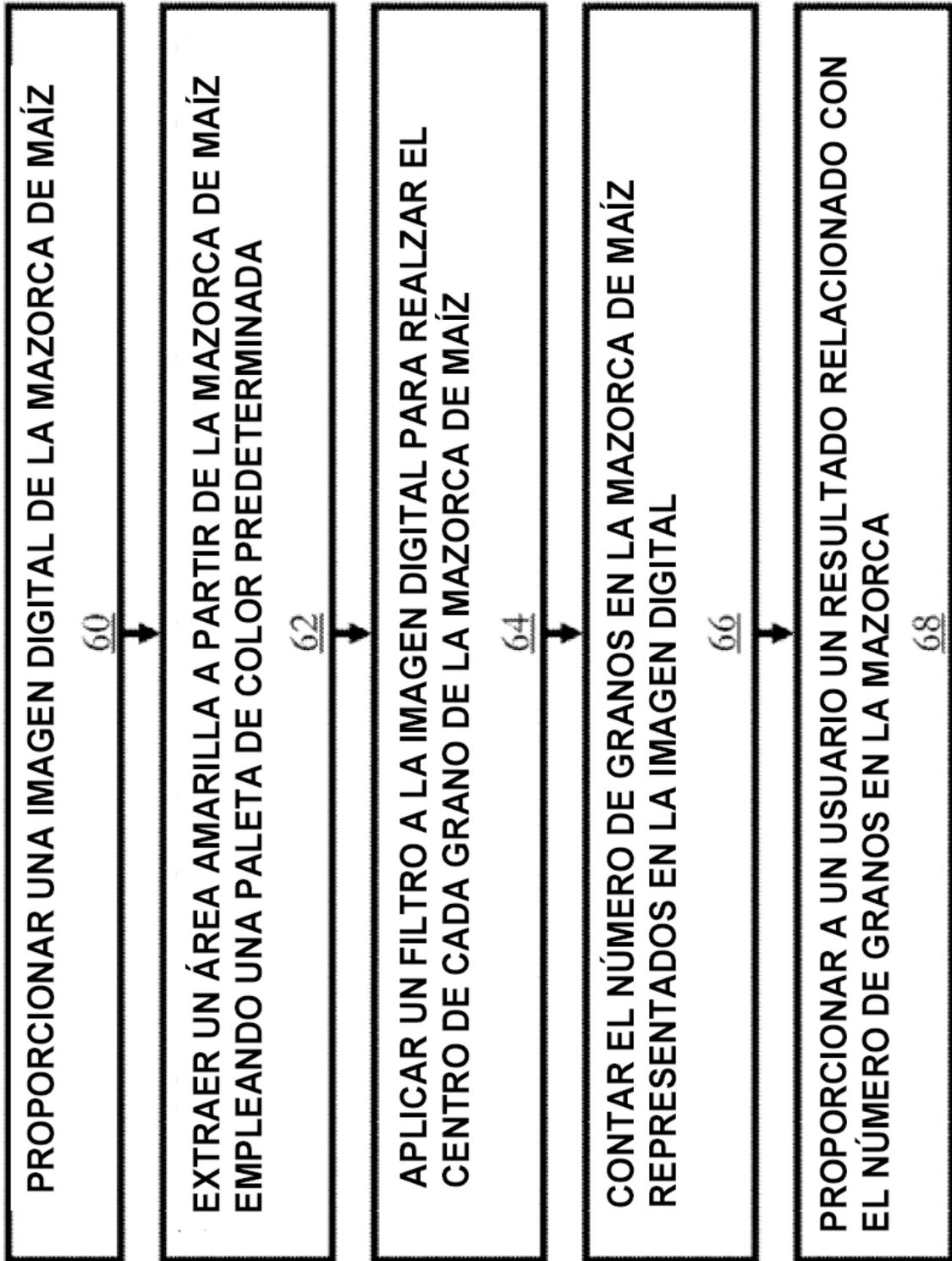


FIG. 21

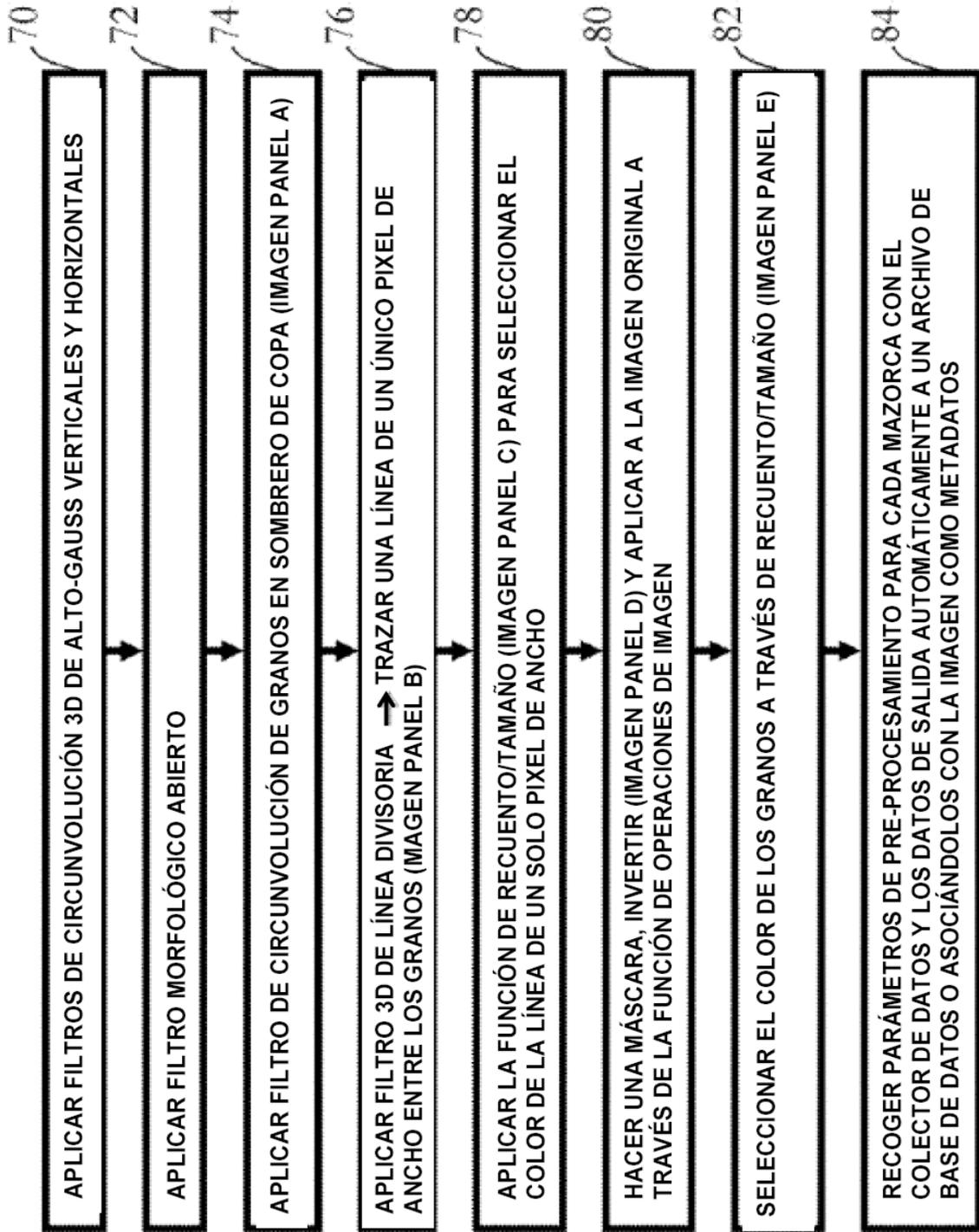


FIG. 22

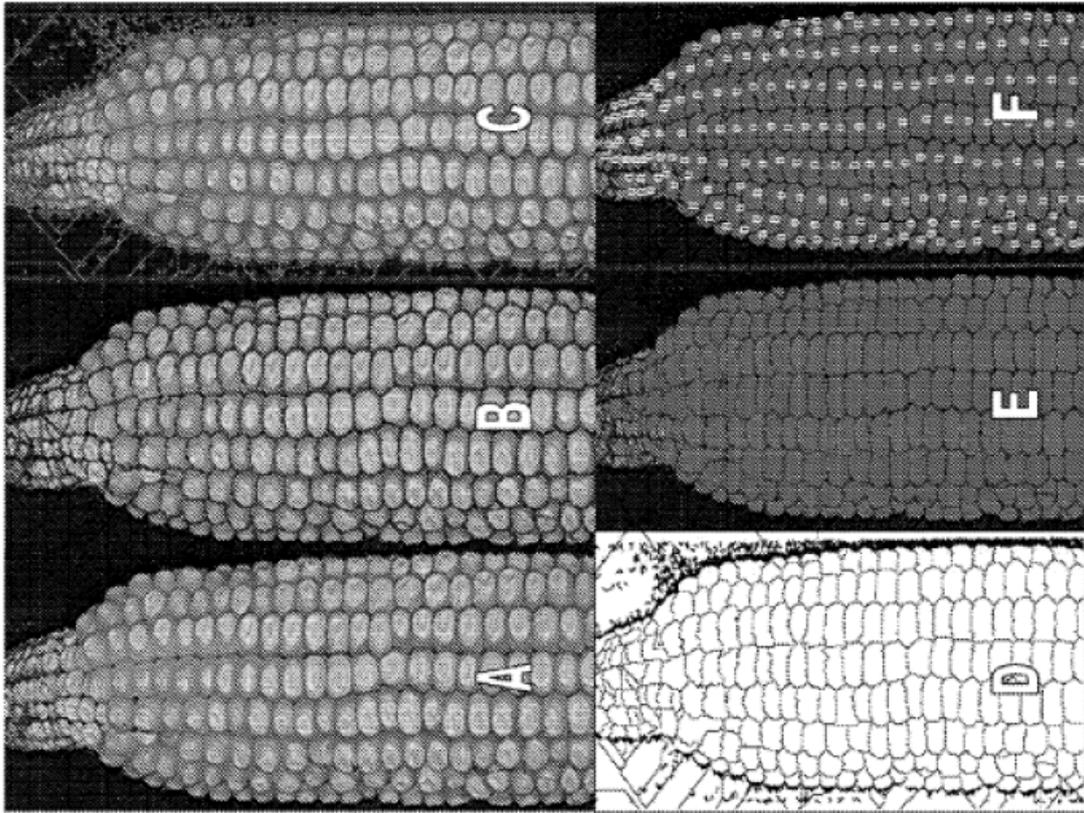


FIG. 23

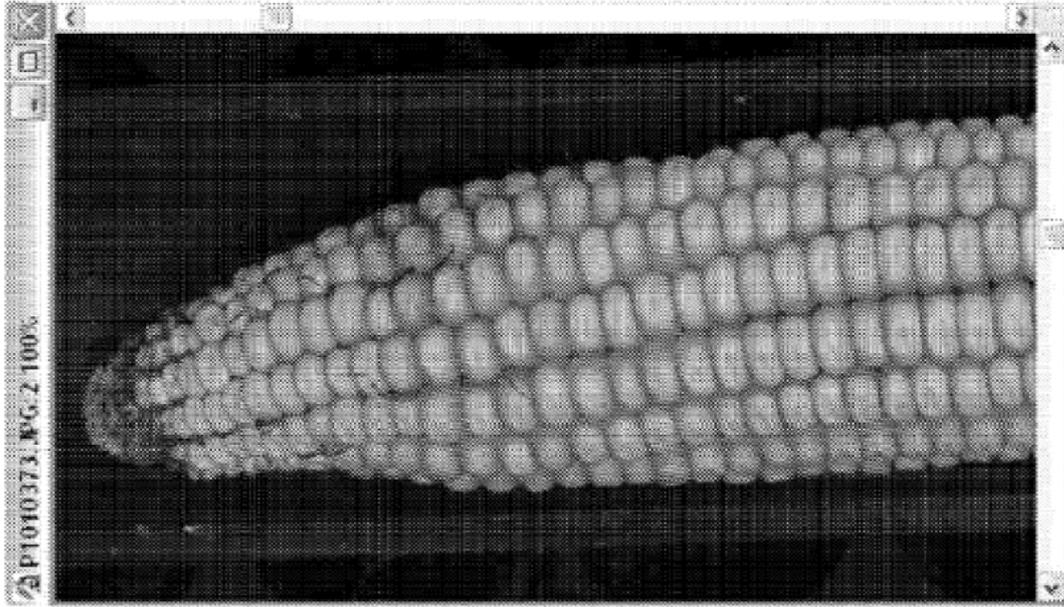


FIG. 24A

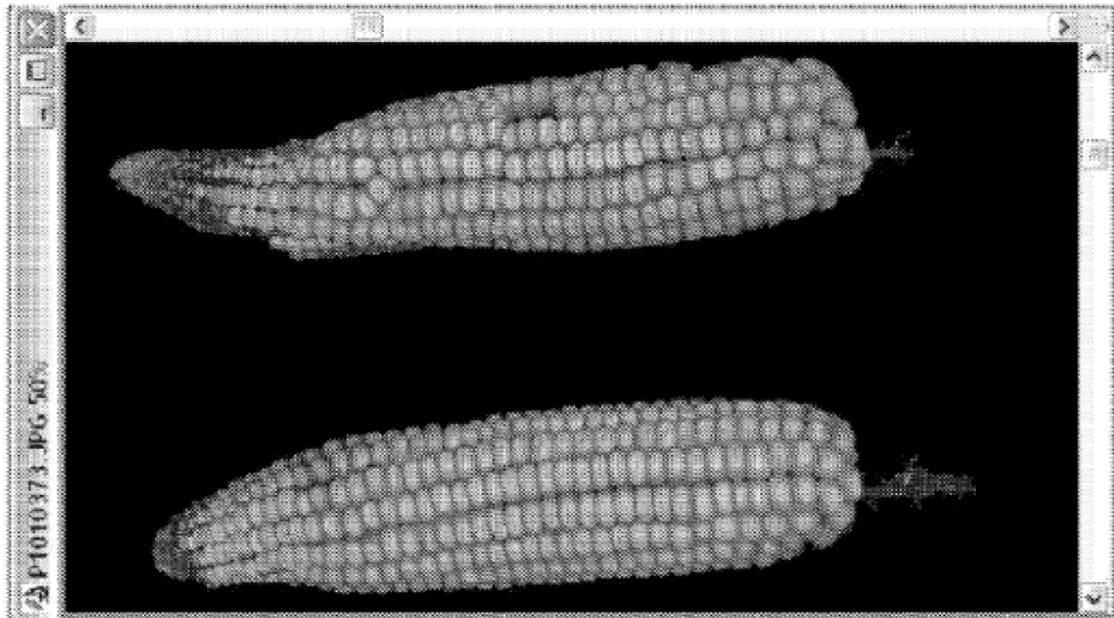


FIG. 24B

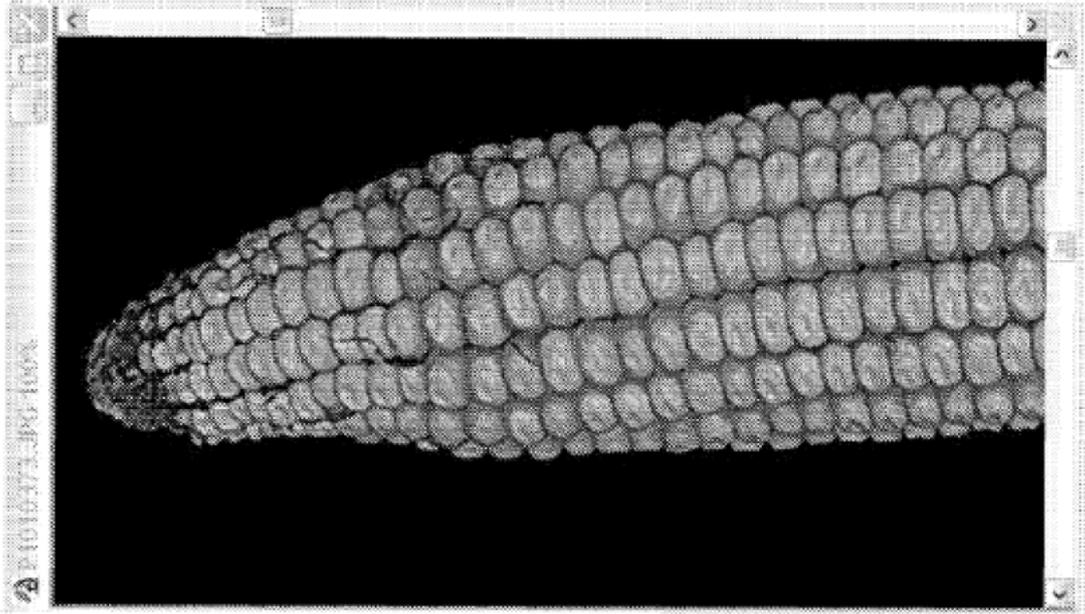
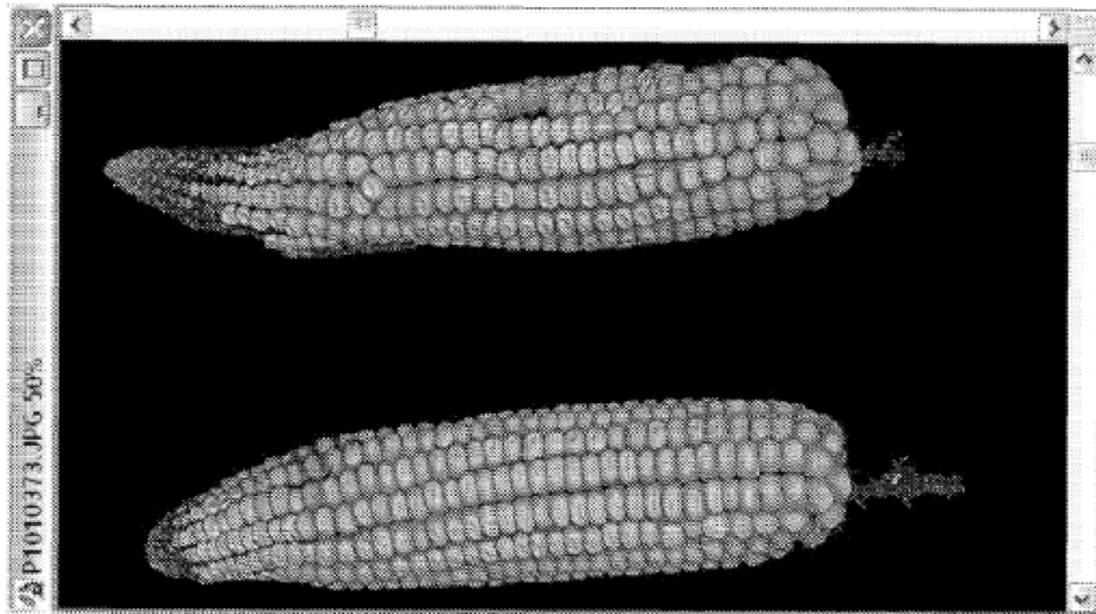


FIG. 24C



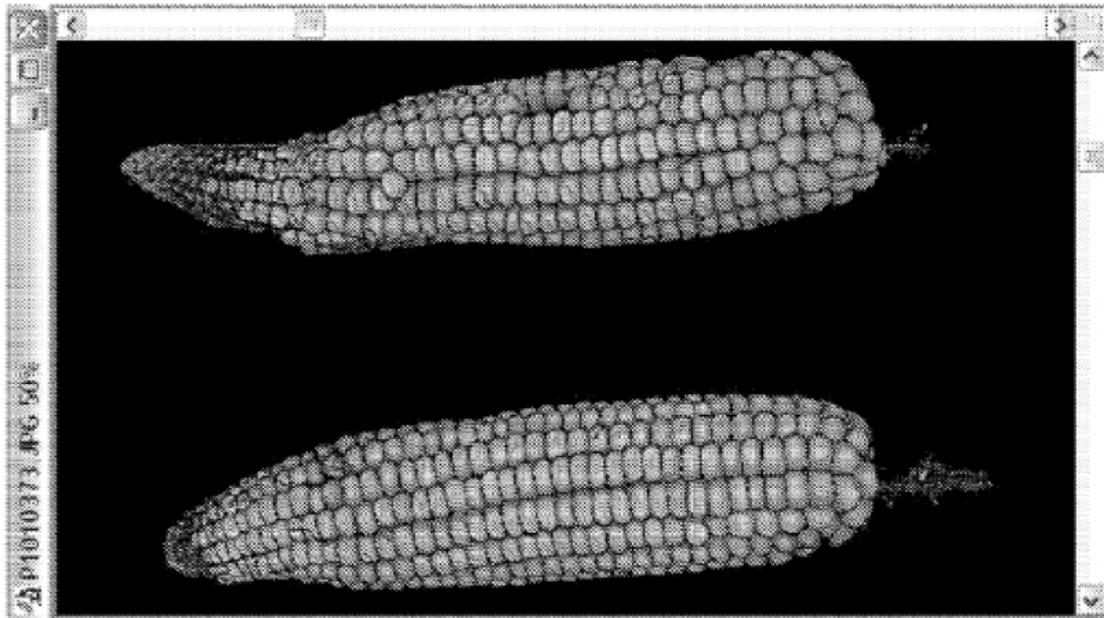


FIG. 24D

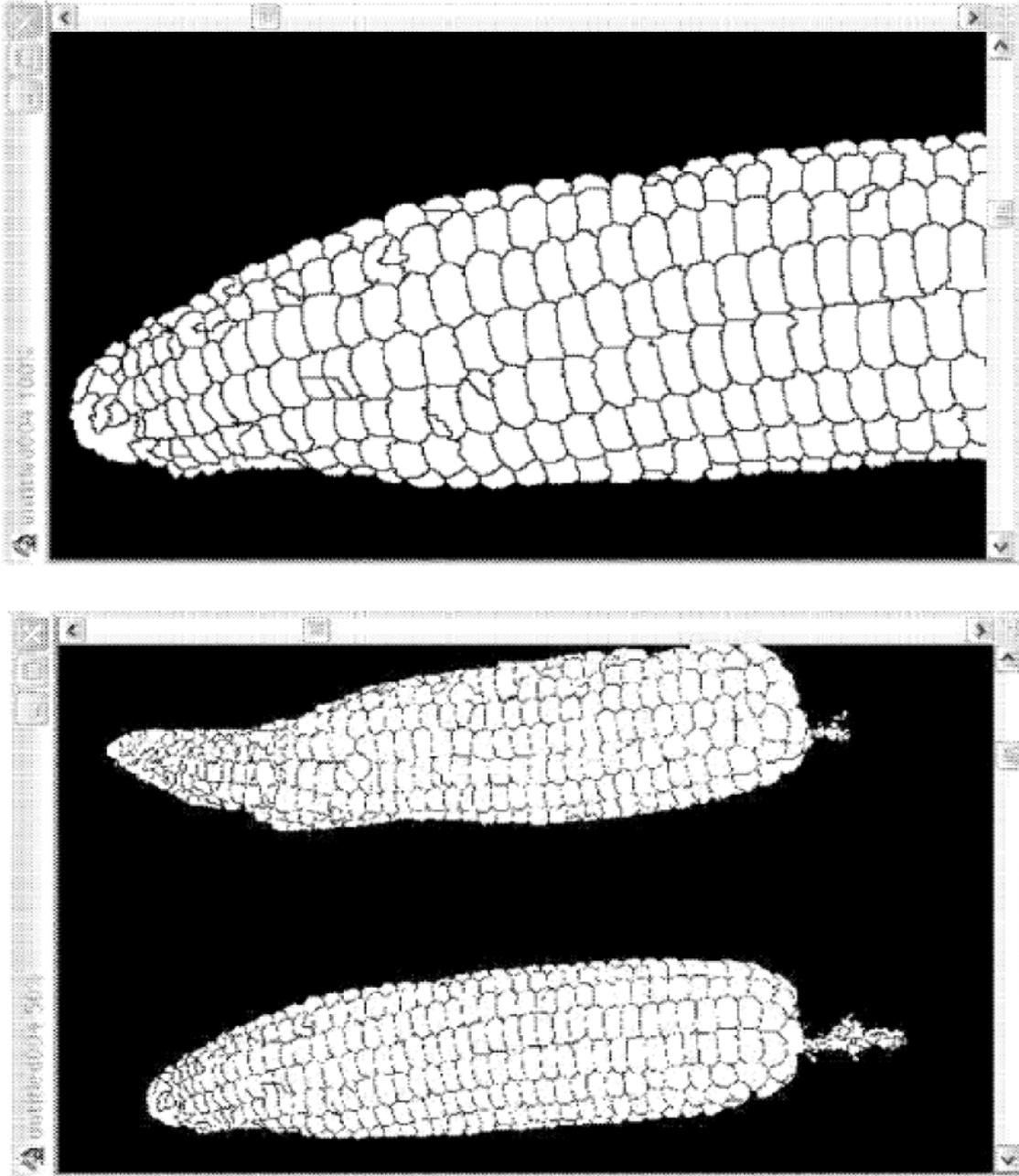


FIG. 24E

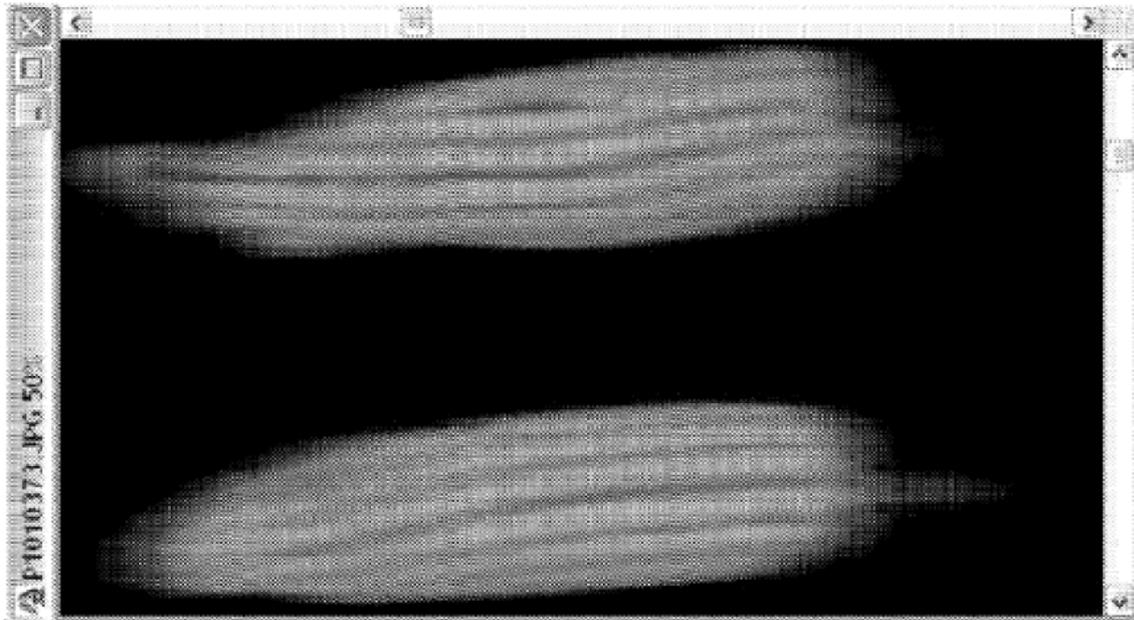
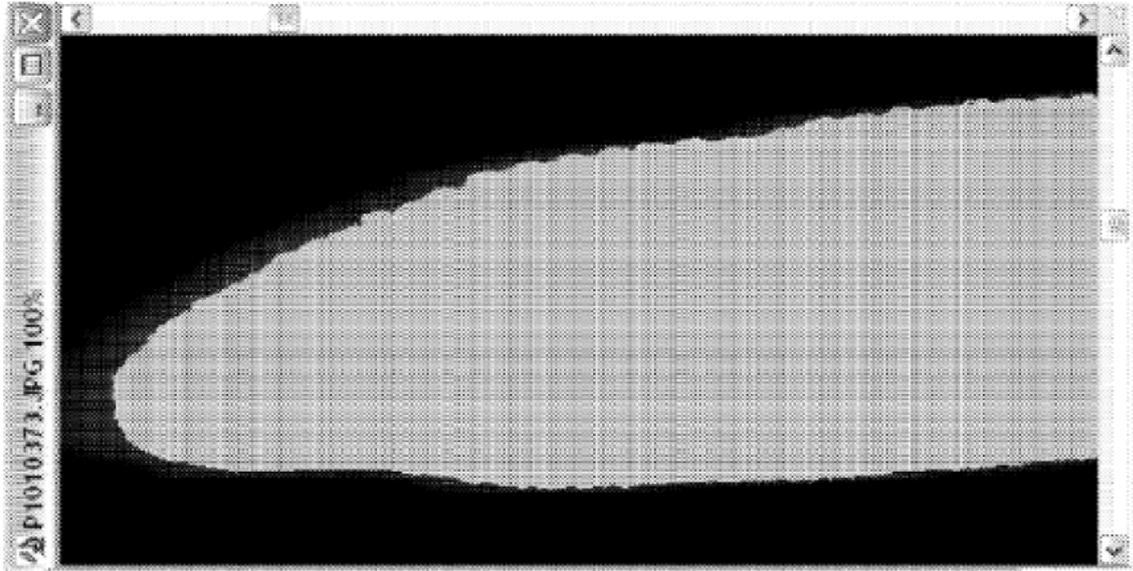


FIG. 24F

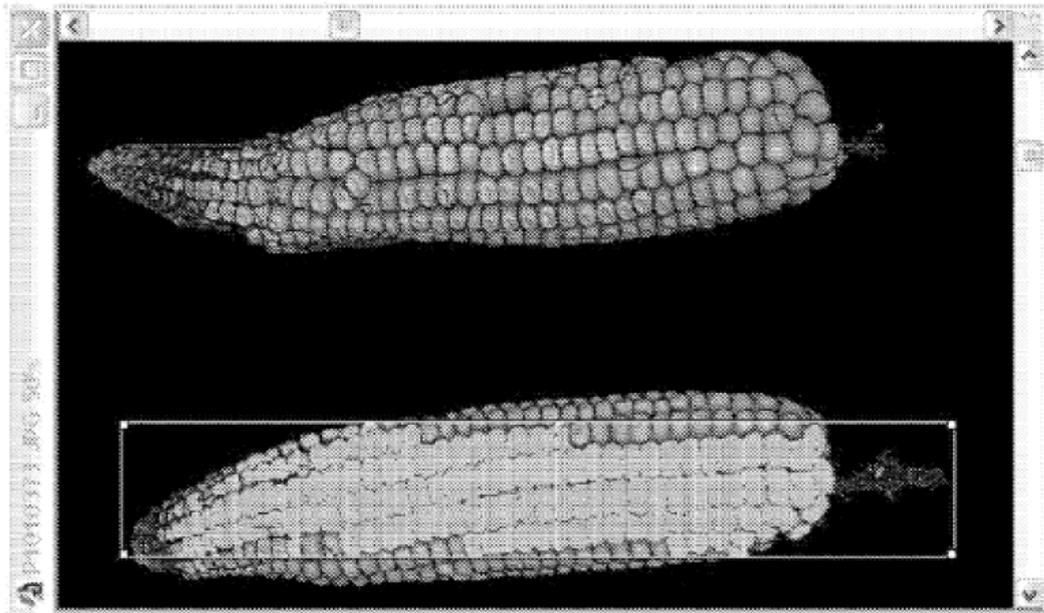
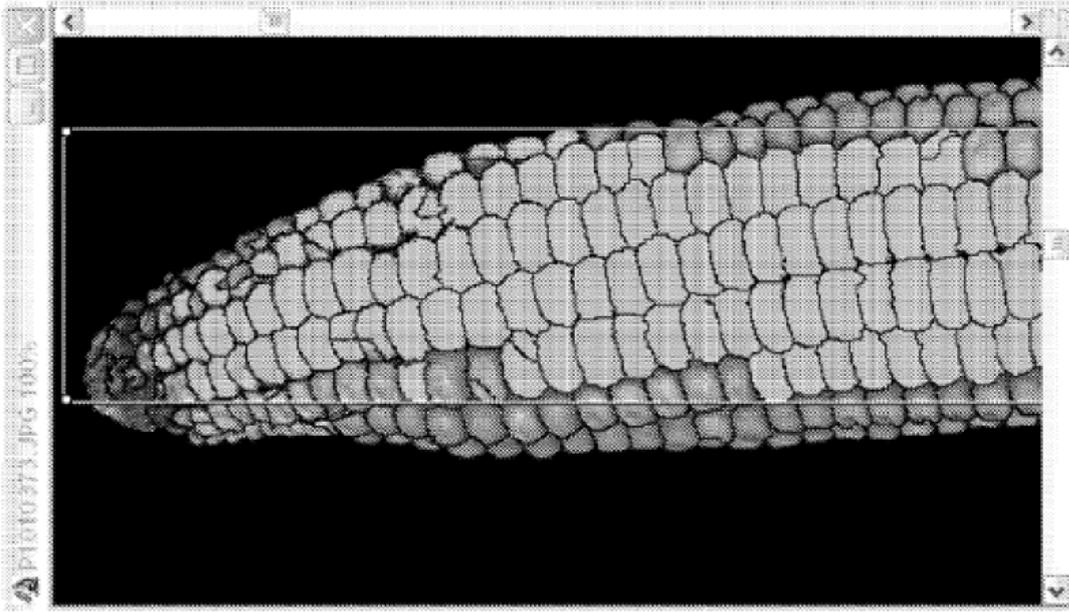


FIG. 24G

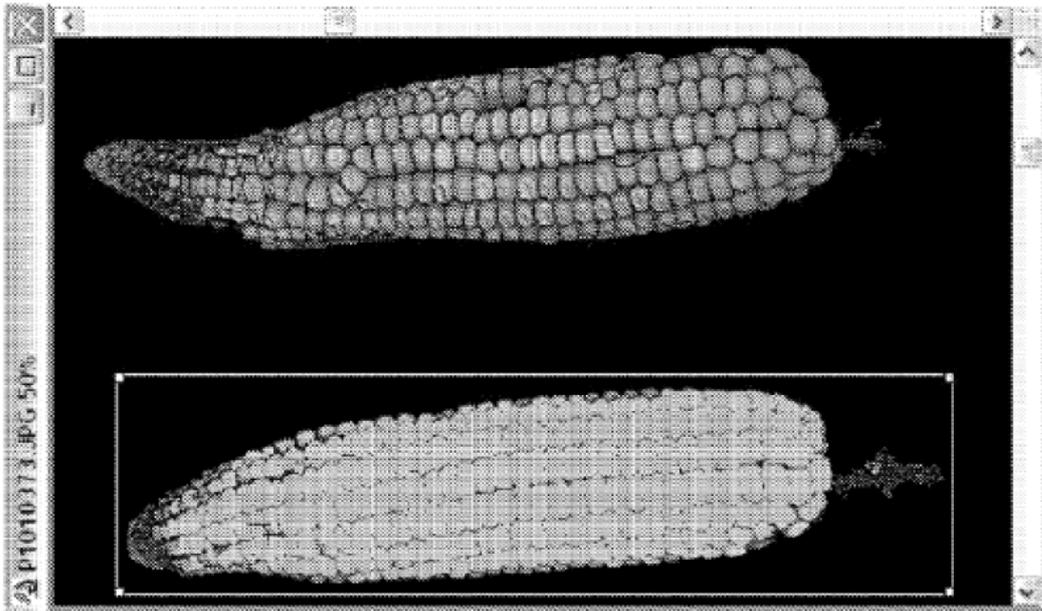
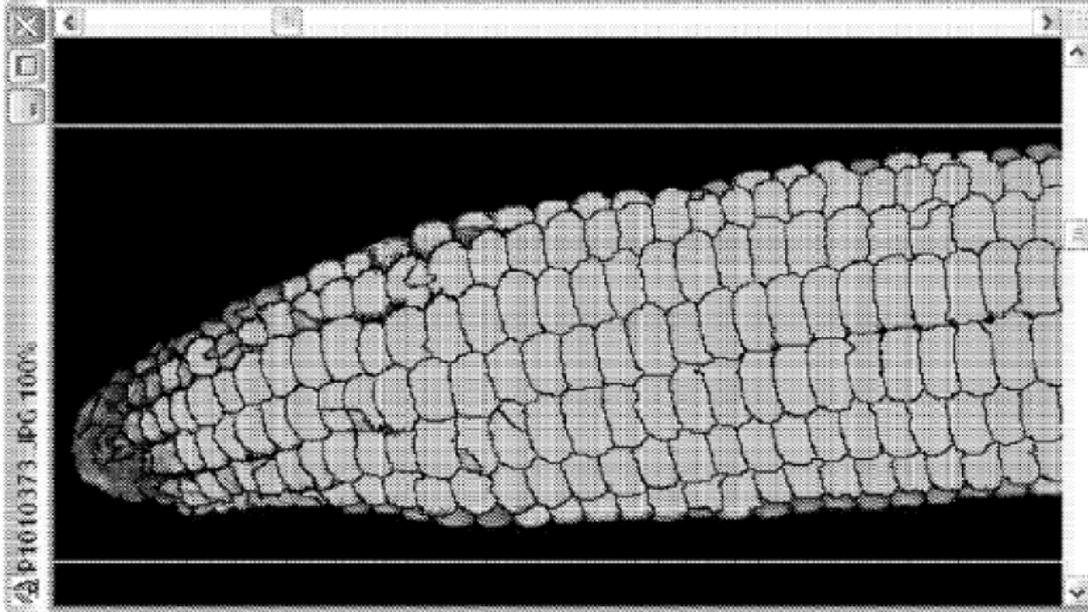


FIG. 24H

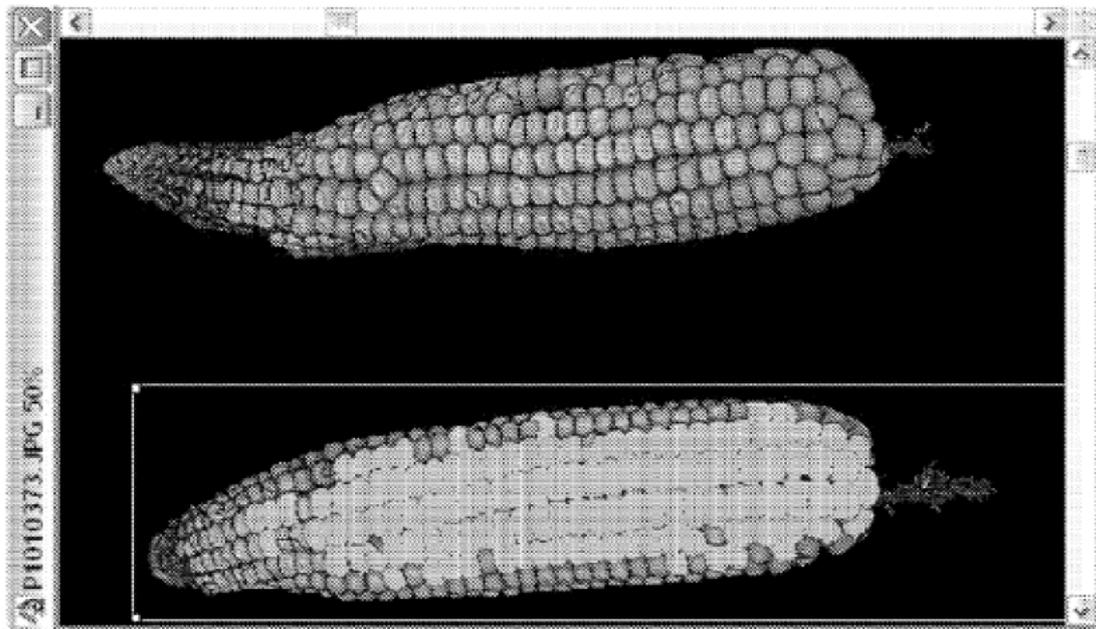
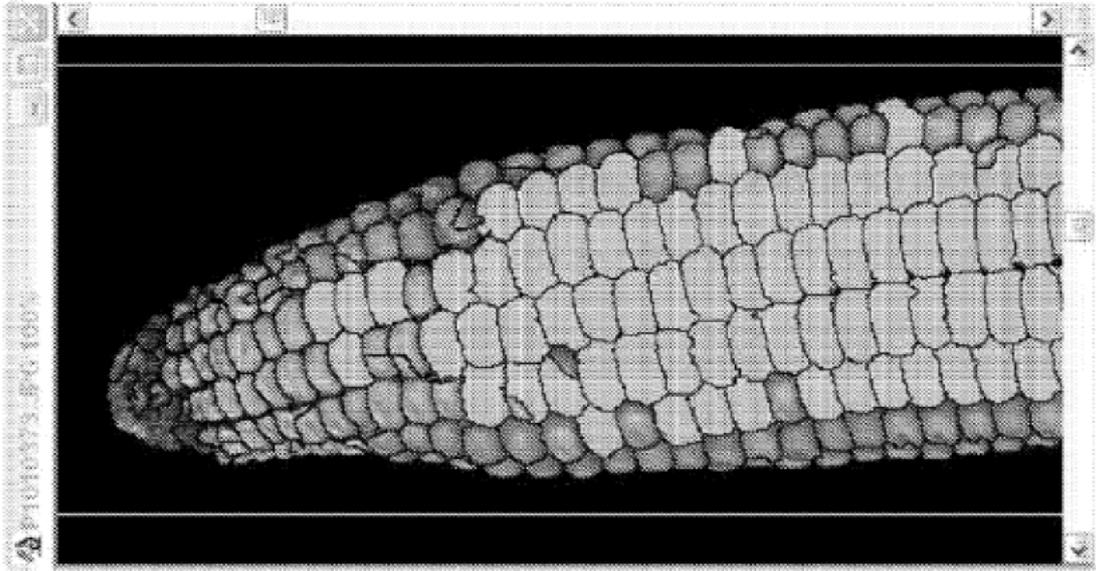


FIG. 24I

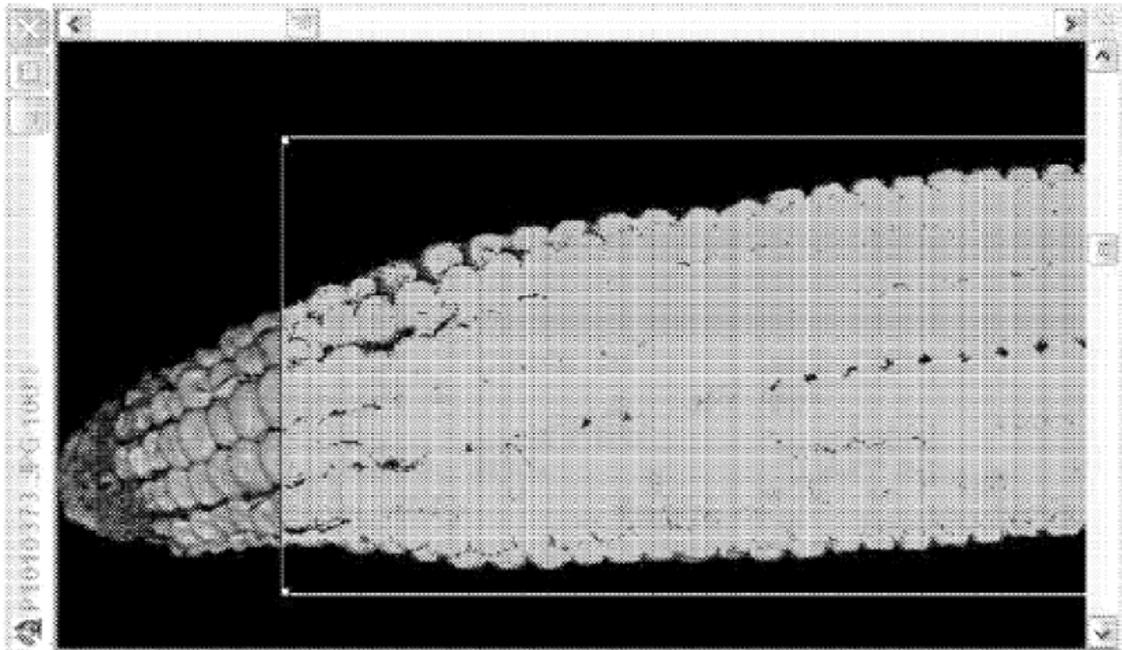
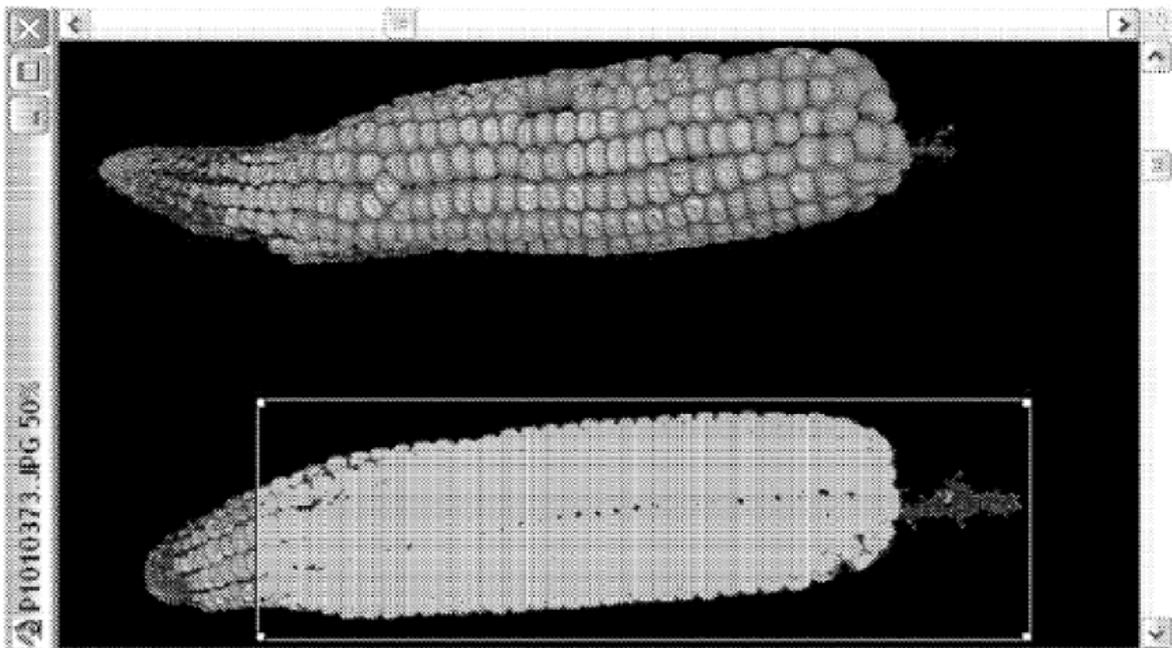


FIG. 24J



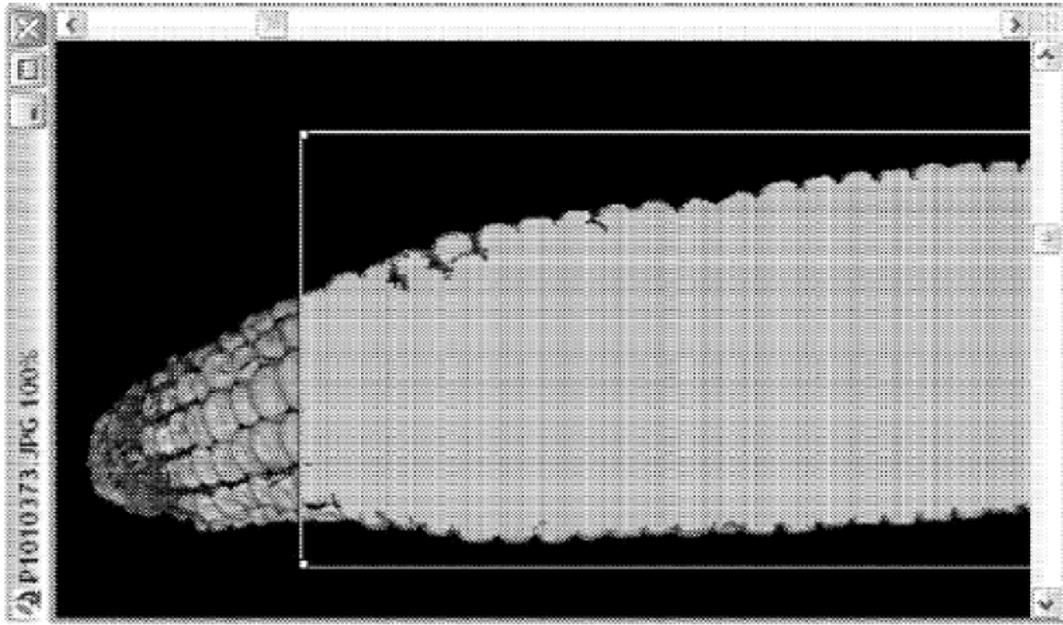
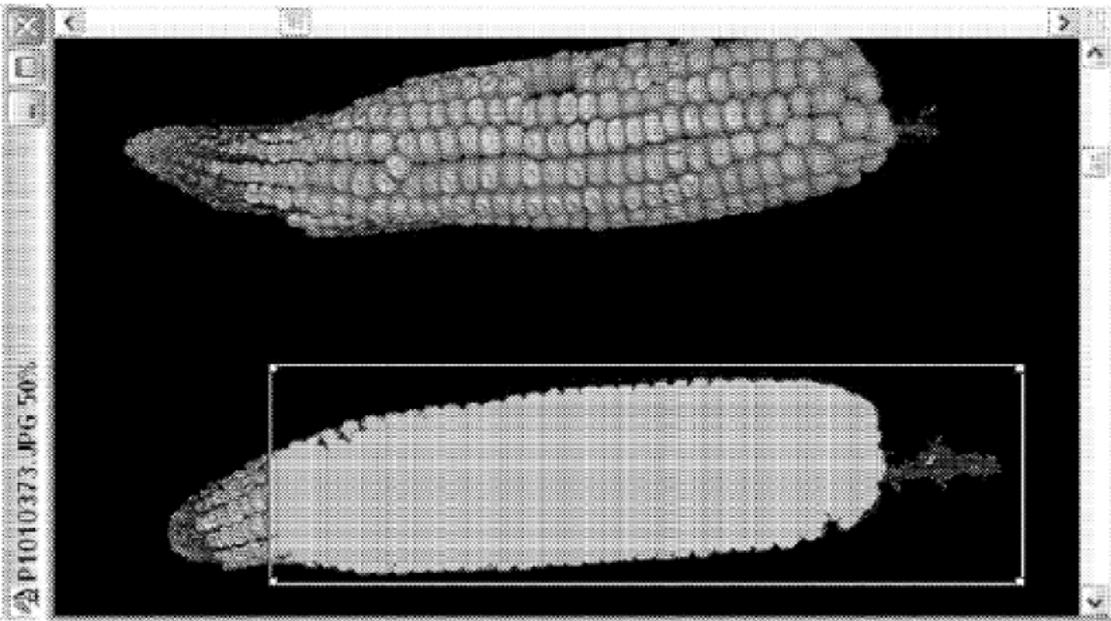


FIG. 24K



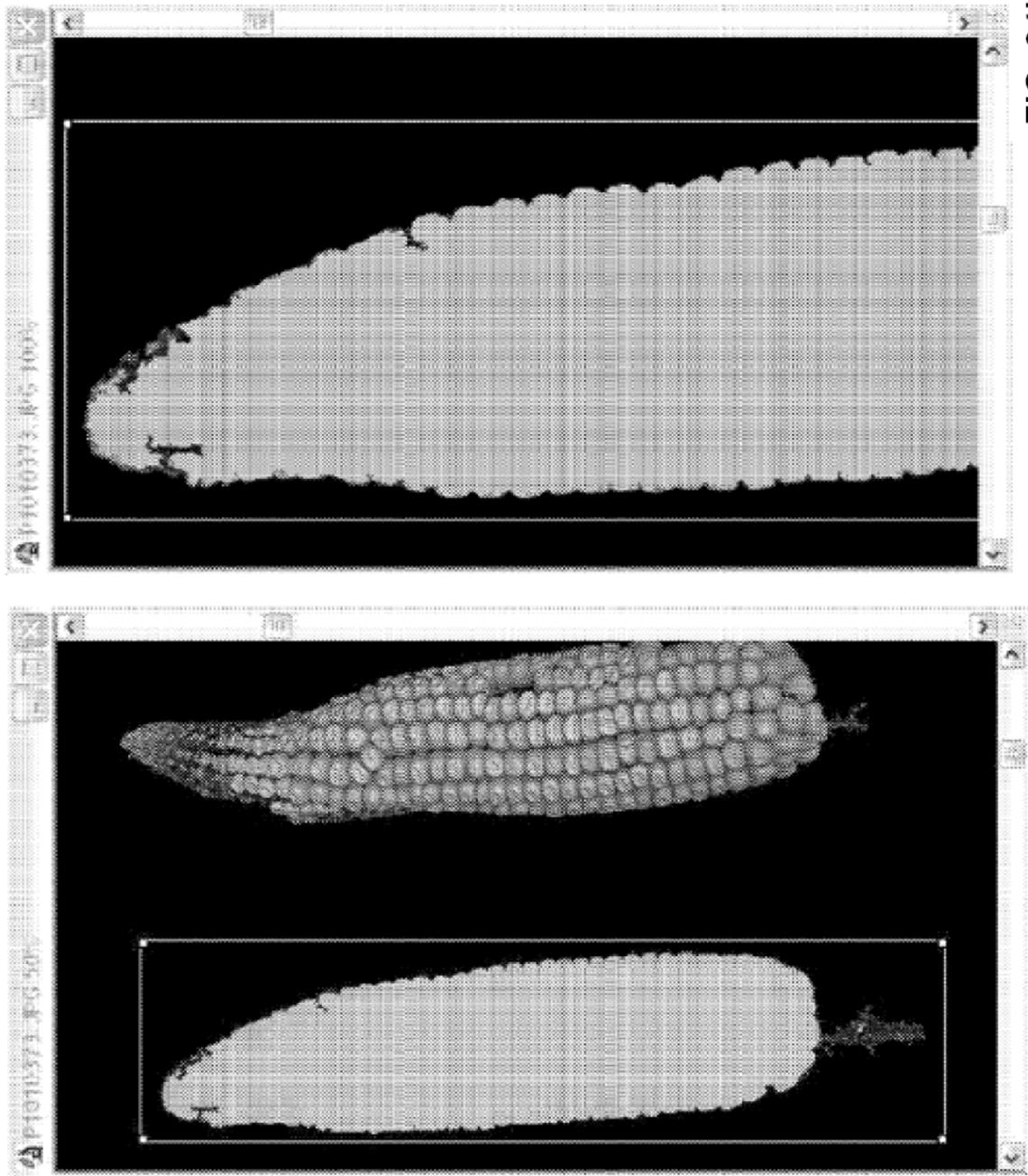


FIG. 24L

Post-procesamiento para identificar el anillo de grano crítico

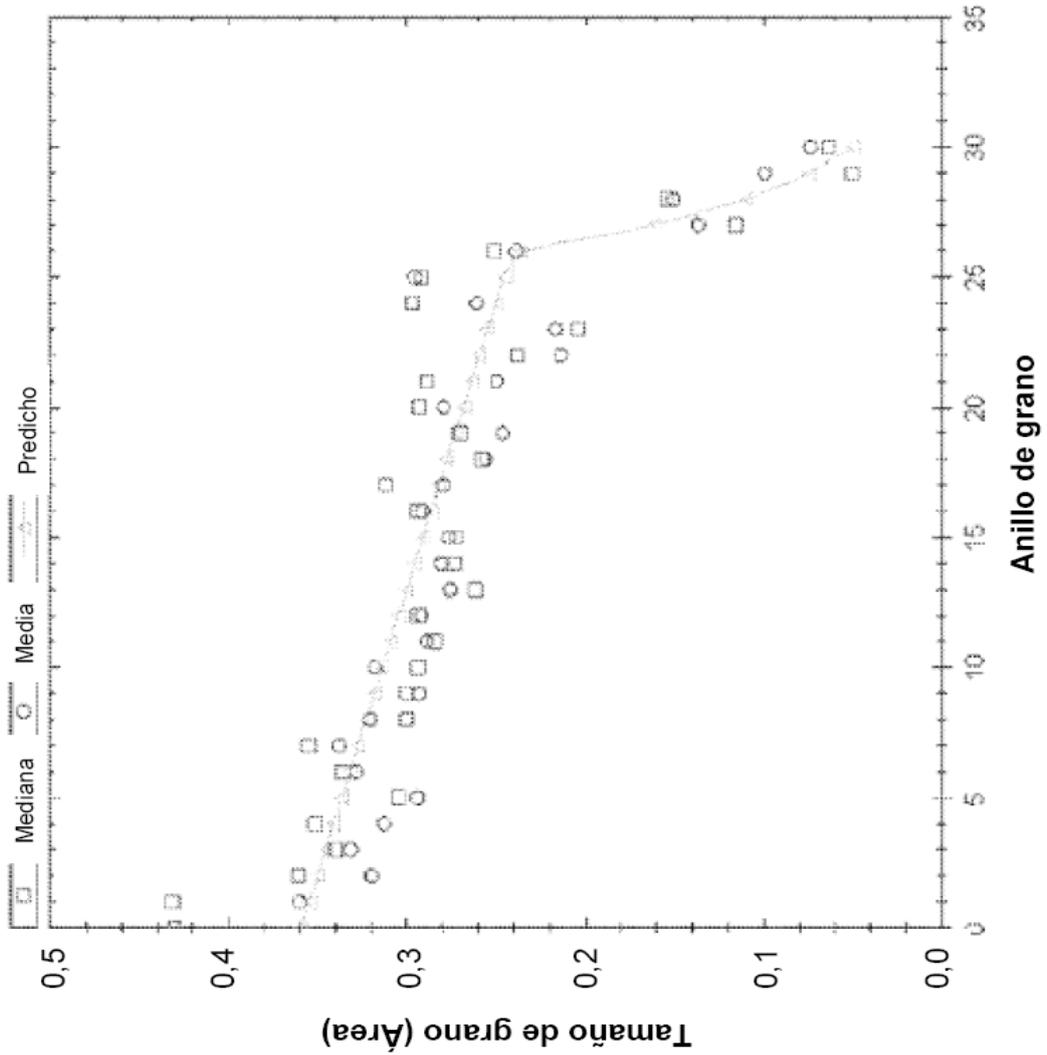


FIG. 25

1.500 parcelas de líneas de mejoramiento de élite crecidas bajo estrés (promedios marcados de 5 mazorcas)

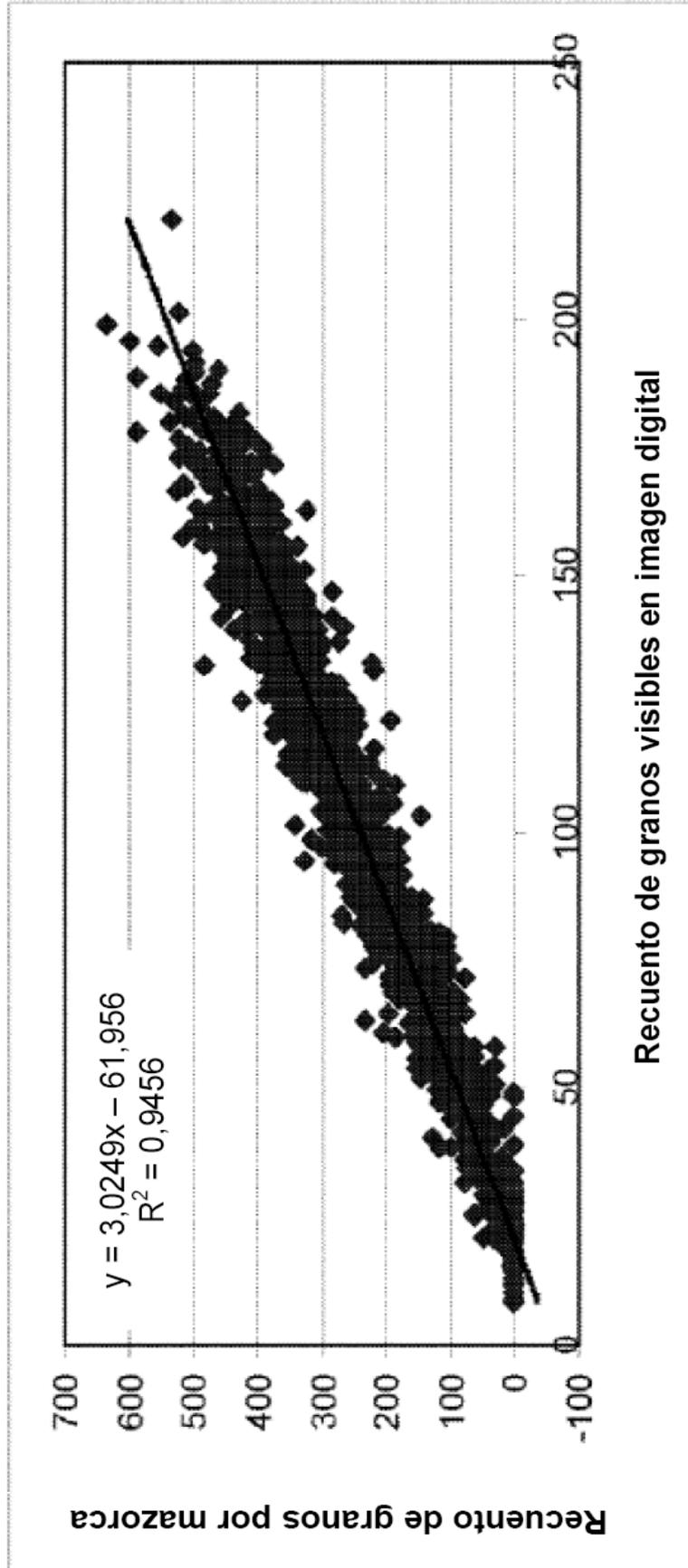


FIG. 26

**Promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite
crecidas bajo estrés**

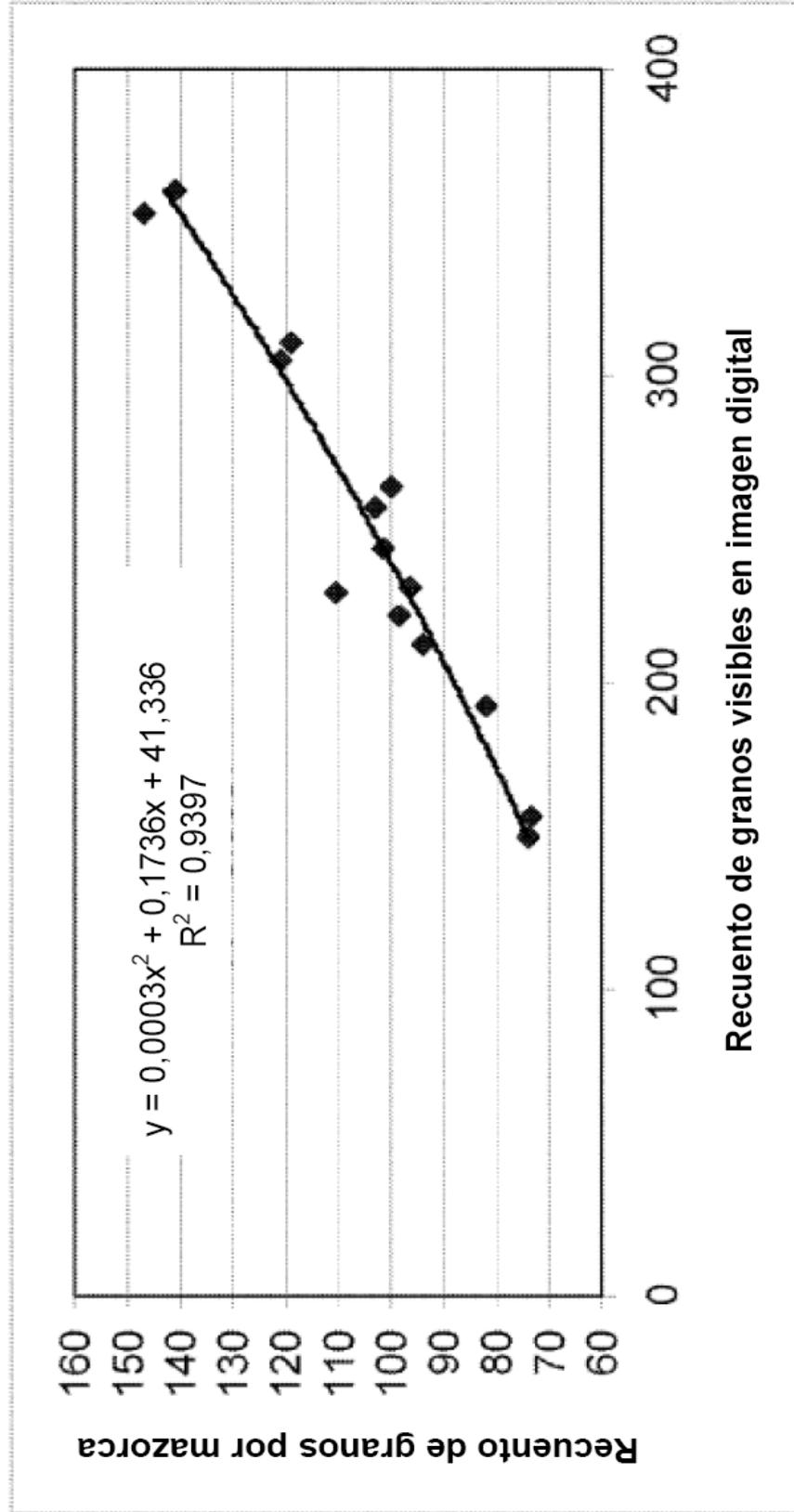


FIG. 27

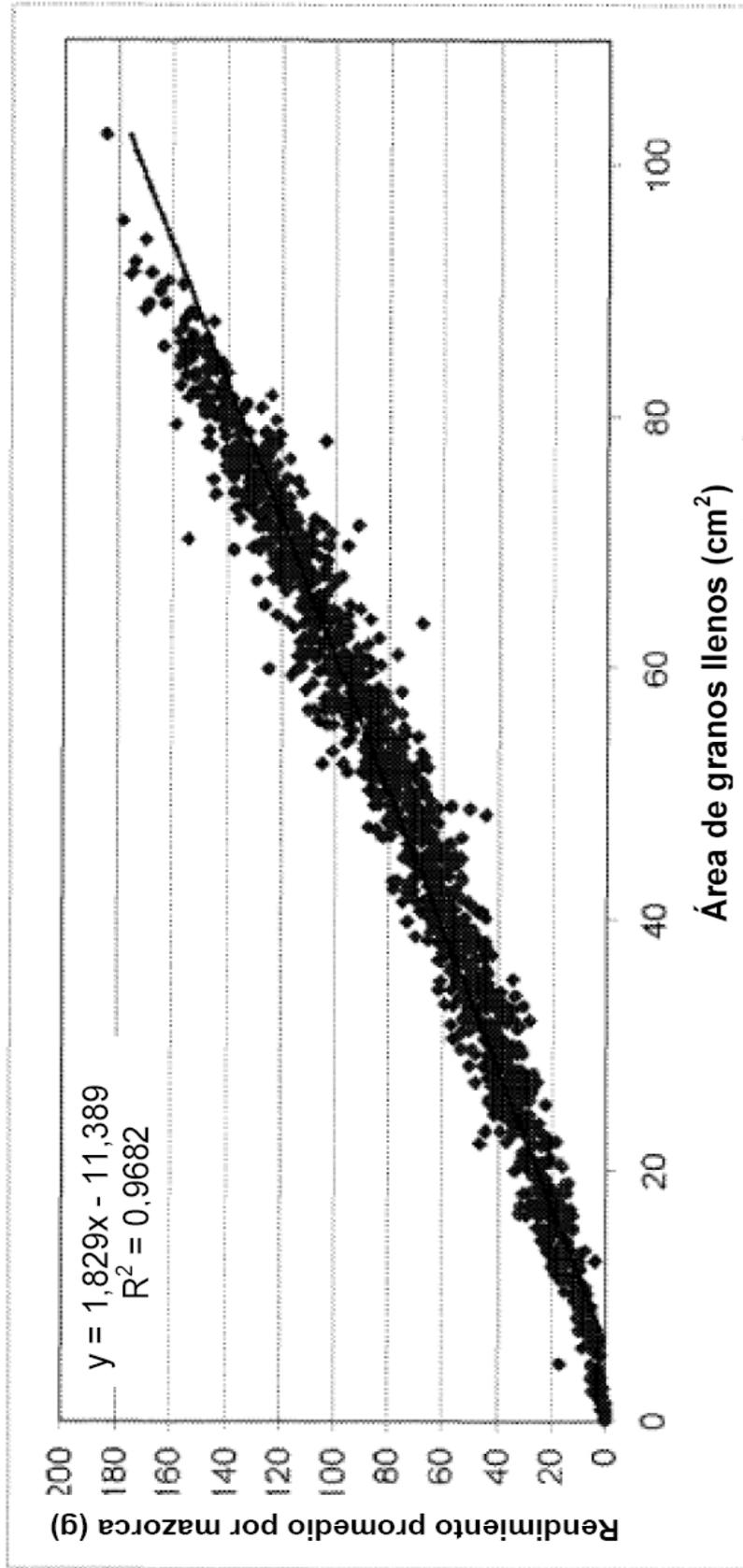


FIG. 28

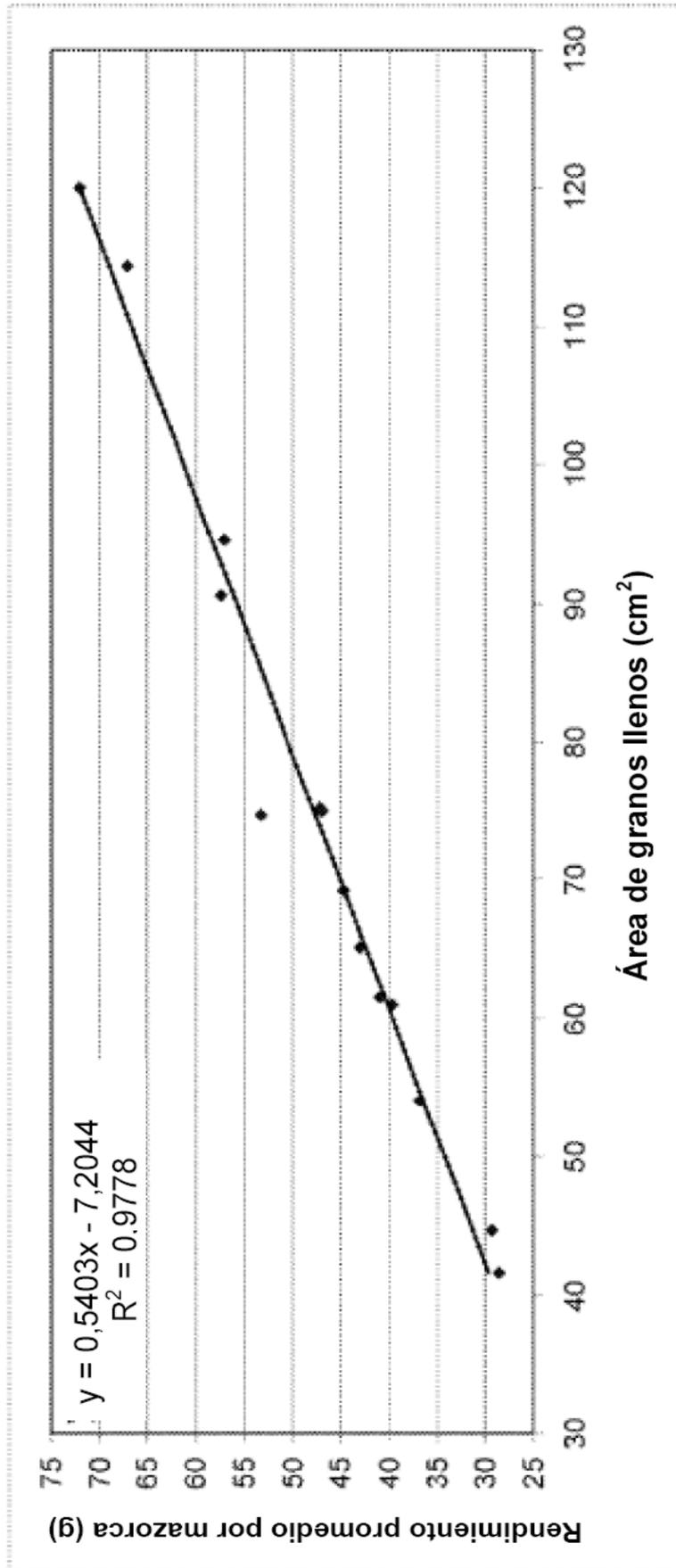


FIG. 29

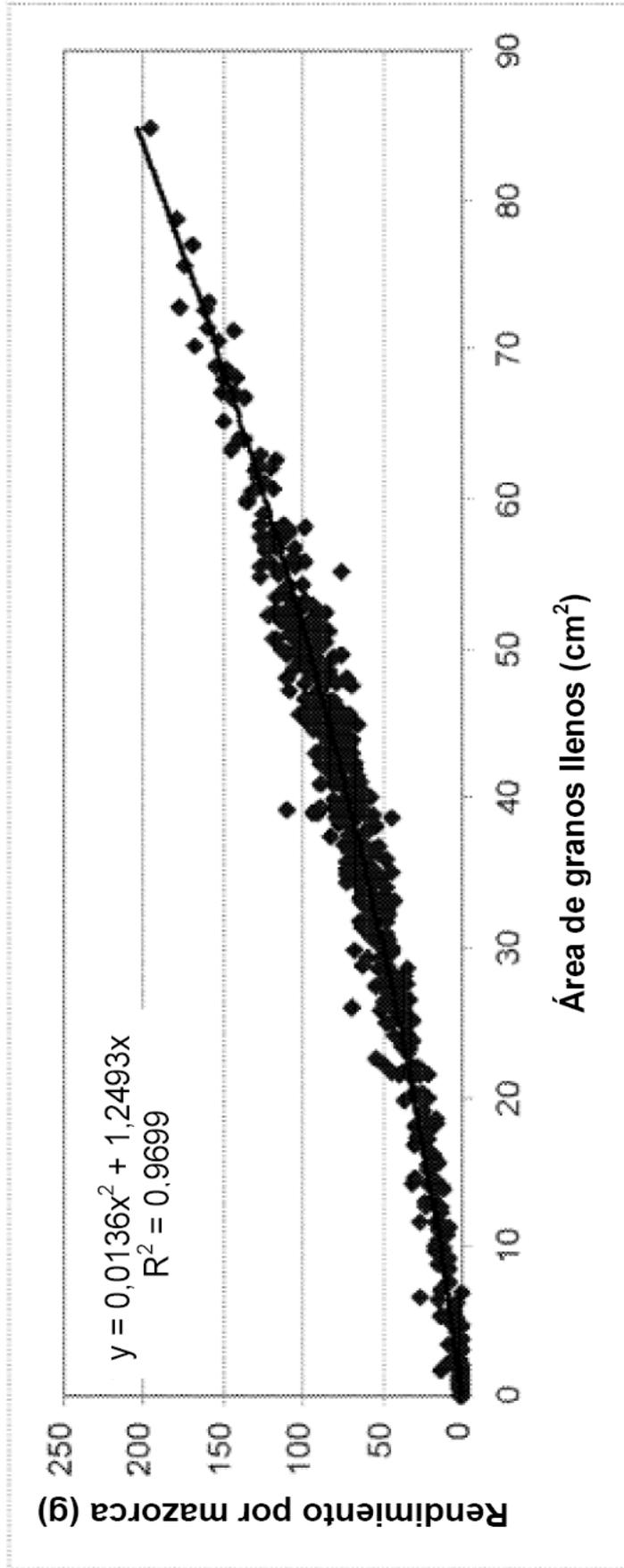


FIG. 30

Medidas de 630 mazorcas individuales de híbridos
comerciales crecidos bajo estrés

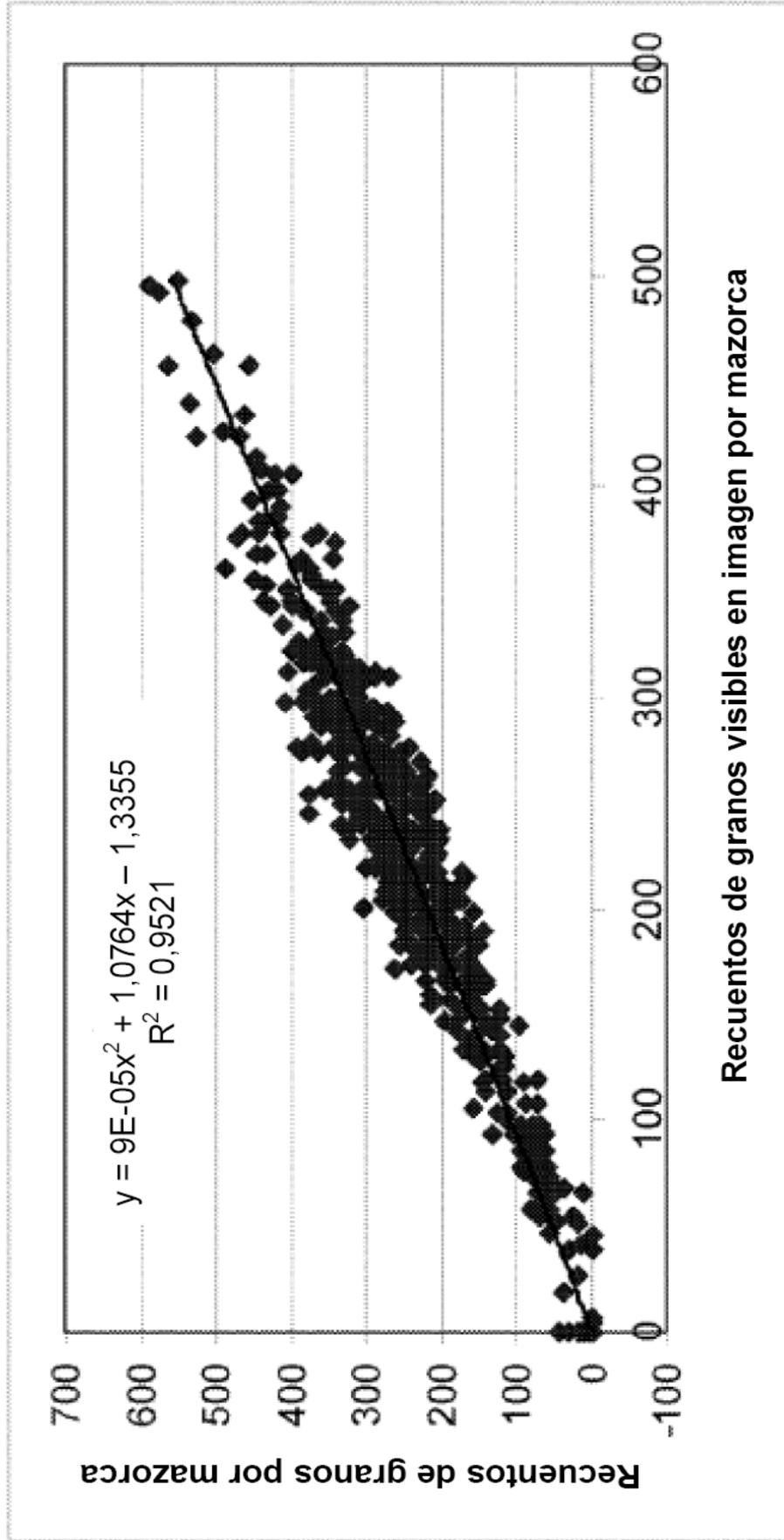


FIG.31

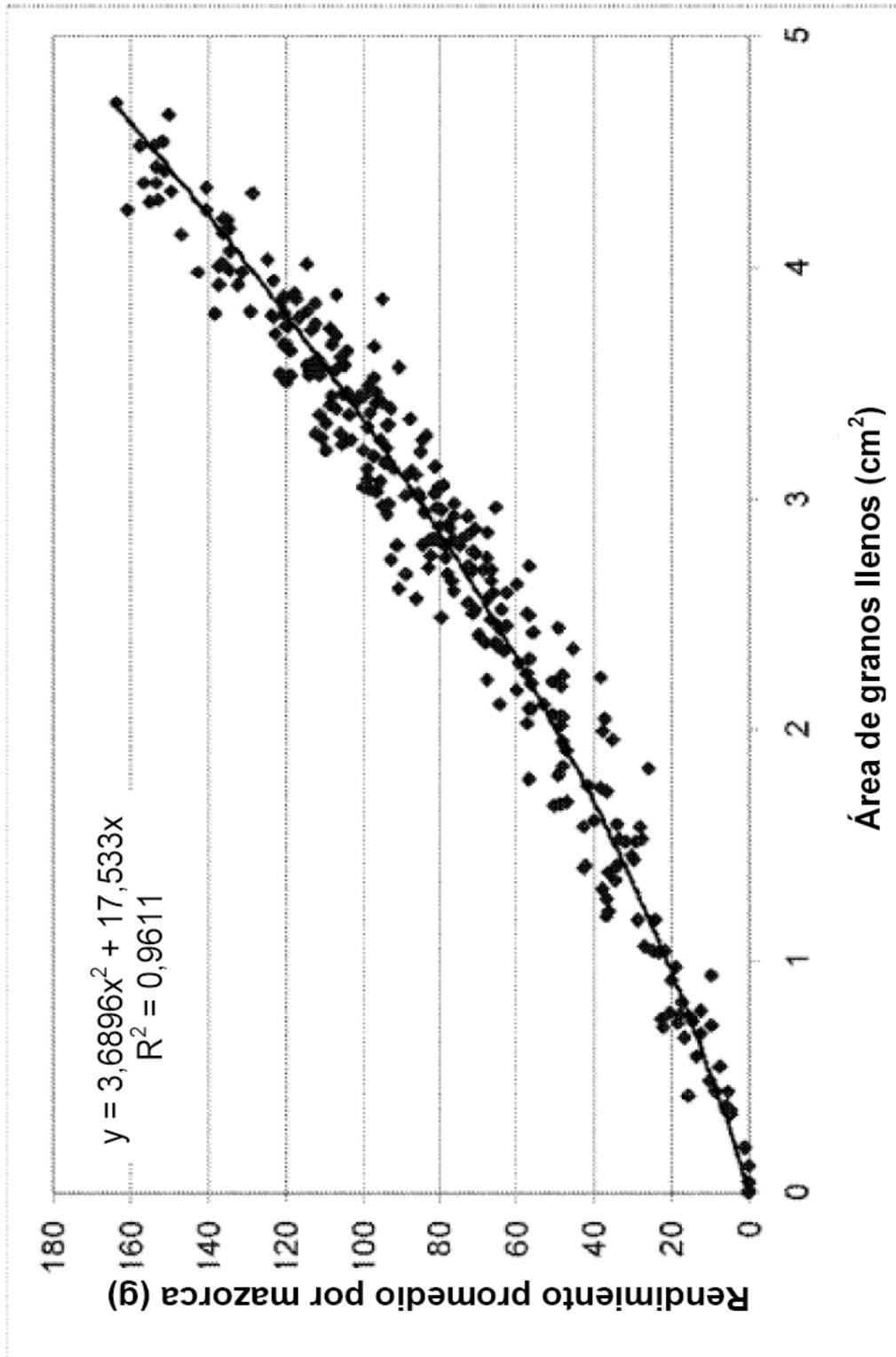


FIG.32

287 parcelas de híbridos comerciales (promedios marcados de 10 mazorcas)

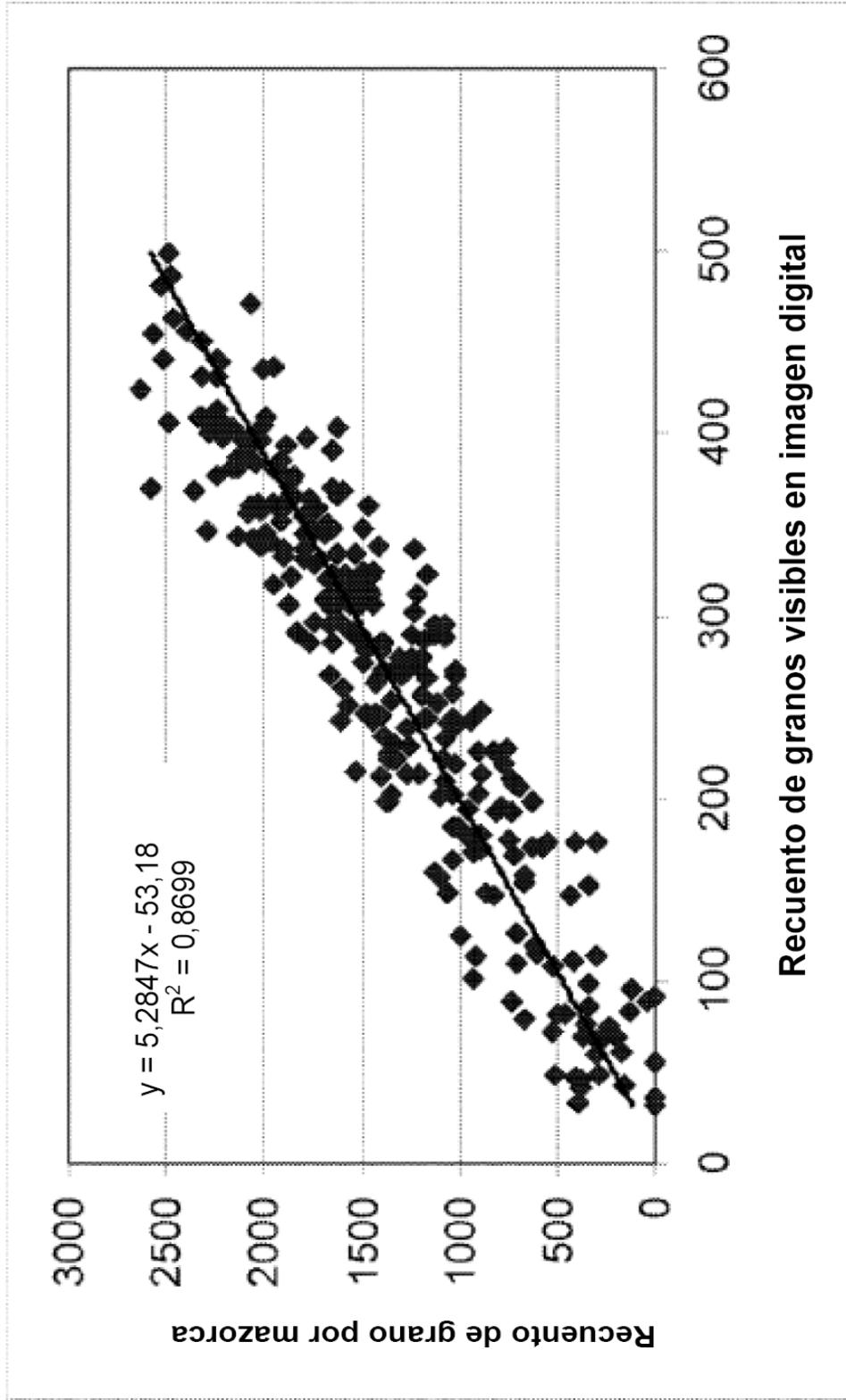


FIG.33

1.500 parcelas de líneas de mejoramiento de élite (promedios marcados de 5 mazorcas)

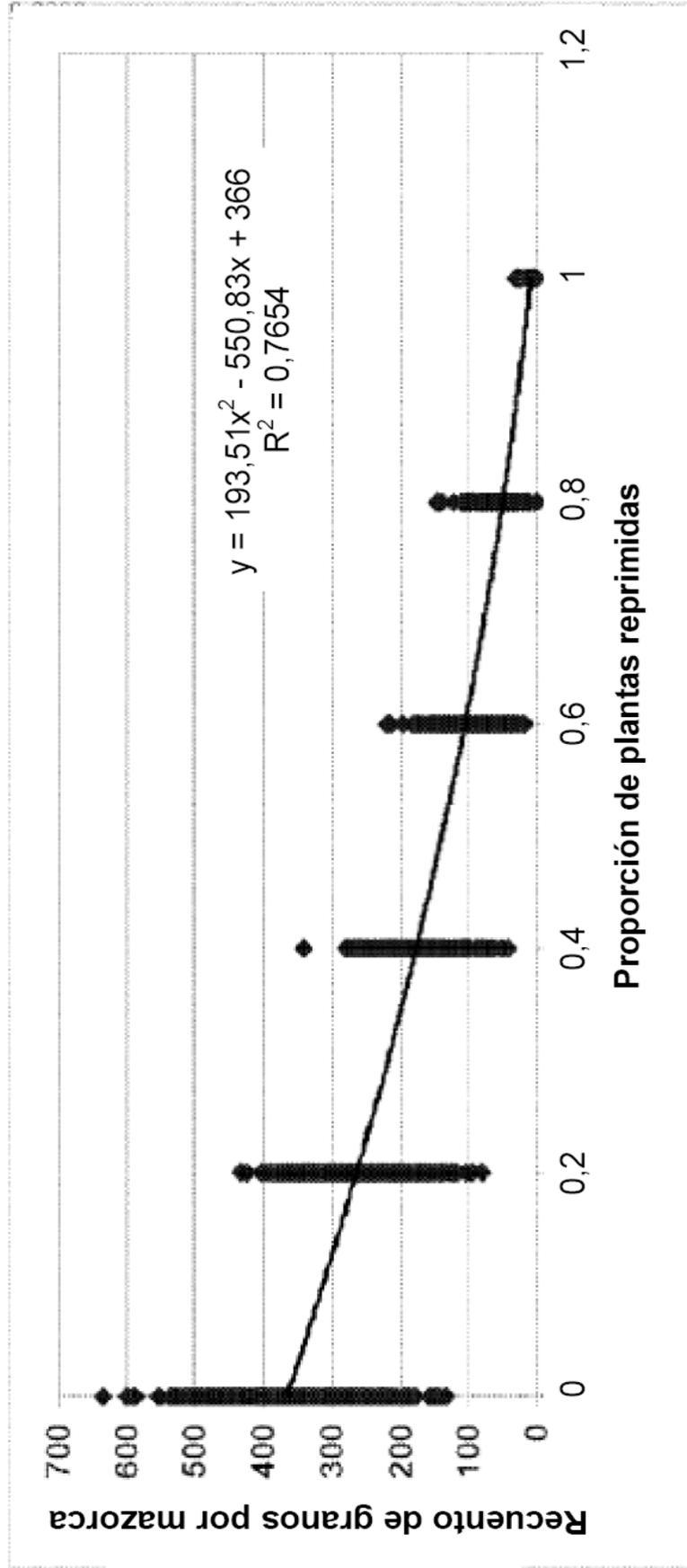


FIG.34

Promedios de familia de líneas de mejoramiento de élite

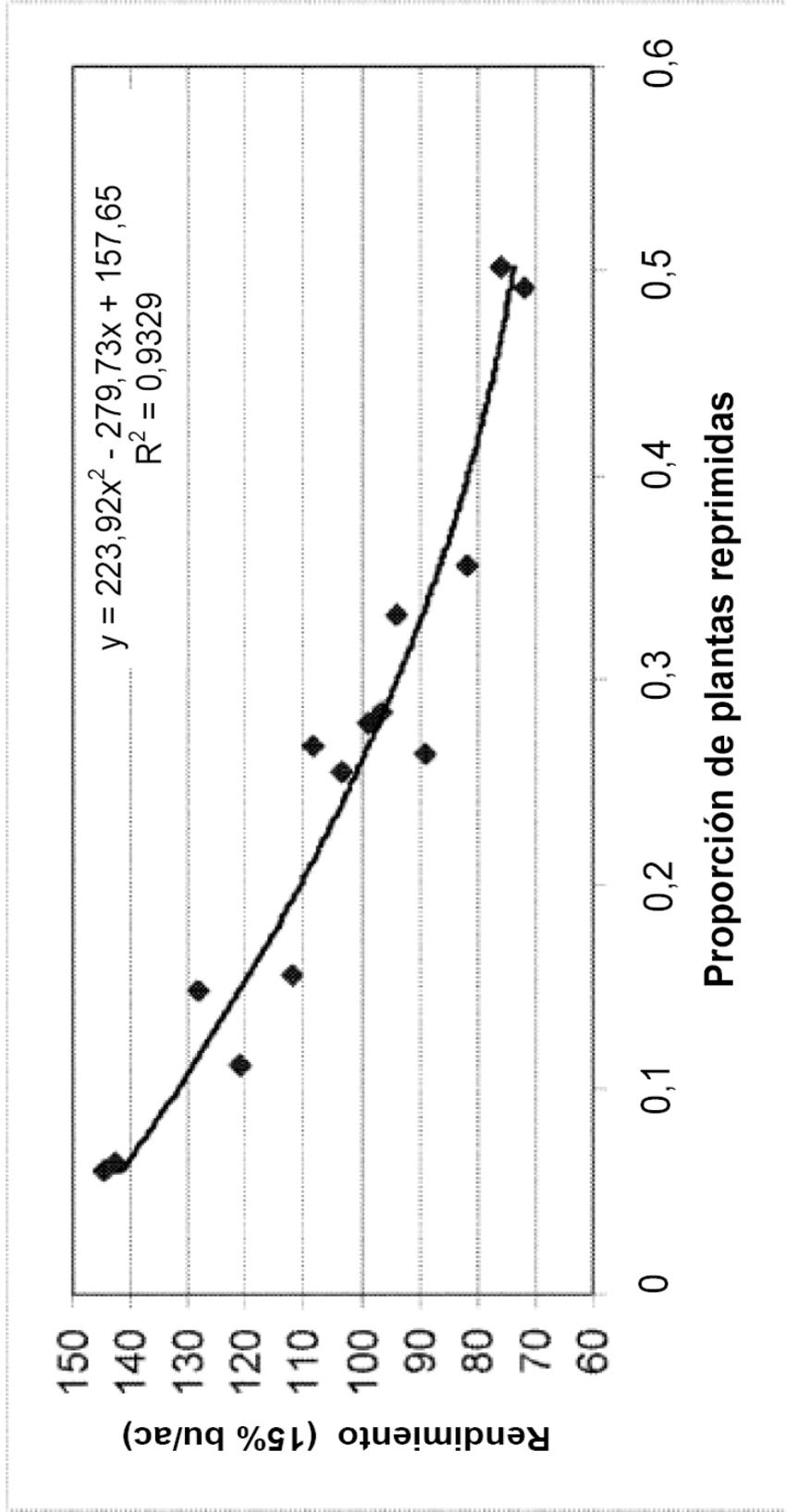


FIG.35