

Equipo para Clasificar por Tamaño y Color el Grano de Maíz

Jonathan Vargas-Muñoz¹, Rosalba Zepeda-Bautista¹, Jorge Fernando Ángeles-Islas²

¹Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco. SEPI-Ingeniería de Sistemas, ² Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas
jonathanvargasmunoz1im10@hotmail.com, rzedab@ipn.mx, jangelesi@ipn.mx

<https://orcid.org/0009-0006-7236-709X>, <https://orcid.org/0000-0003-0988-8619>, <https://orcid.org/0000-0003-2374-2990>

Resumen—La industria alimentaria oferta productos derivados del maíz como tortillas, totopos, tamales, entre otros, para lo cual necesita contar con equipo especializado para la clasificación de granos de maíz, debido a que existen diferentes colores, tamaños y formas, lo cual afecta su proceso industrial. Existen equipos que se han desarrollado para la clasificación, pero en muchas ocasiones son caros y de difícil adquisición para los pequeños productores. Por ello, el objetivo de la investigación fue diseñar, construir y evaluar un equipo de clasificación de grano de maíz por tamaño y color. Se usaron metodologías, métodos, técnicas y herramientas de las disciplinas como Electrónica, Eléctrica y Mecánica. Los resultados mostraron que para el diseño y la construcción de prototipo se requiere una caracterización previa para definir los parámetros de diseño. El clasificador está construido por dos módulos, el primero separa por tamaño y el segundo por color. Para su construcción se utilizaron materiales reutilizados como un lector de DVD, transmisión de una motocicleta, motores y elementos mecánicos. El prototipo clasificador mostro eficiencias para forma y tamaño de grano entre 90% y 94%, y entre 80% y 89% para granos plano grande y bola grande, respectivamente; así como, una eficiencia entre grano blanco y azul promedio de 99.79%. El equipo es flexible y versátil.

Palabras Clave — Clasificación, Maquinaria, Maíz, Prototipo

Abstract—The food industry offers corn-derived products such as tortillas, tortilla chips, tamales, and others. This requires specialized equipment for sorting corn kernels, due to the variety of colors, sizes, and shapes that affect the industrial process. Equipment has been developed for sorting, but it is often expensive and difficult for small producers to acquire. Therefore, the objective of the research was to design, build, and evaluate equipment for sorting corn kernels by size and color. Methodologies, methods, techniques, and tools from disciplines such as electronics, electricity, and mechanics were used. The results showed that the design and construction of a prototype requires prior characterization to define the design parameters. The sorter is constructed of two modules: the first separates by size and the second by color. Recycled materials such as a DVD player, motorcycle transmission, motors, and mechanical components were used for its construction. The prototype classifier showed efficiencies for grain shape and size between 90% and 94%, and between 80% and 89% for large flat and large ball grains, respectively; as well as an average efficiency between white and blue grains of 99.79%. The equipment is flexible and versatile.

Keywords — Classification, Machinery, Corn, Prototype

I. INTRODUCCIÓN

A través del tiempo, el ser humano ha desarrollado una serie de procesos para la clasificación de granos de maíz, algunos de los procesos requieren de una supervisión humana, por lo que no resulta económicamente rentable la producción y no garantiza la calidad de los productos finales a los que son destinados los granos de maíz [1]. Se han desarrollado equipos de clasificación por color, tamaño y forma [2]. Estos equipos pueden ser caros y usados en plantas de beneficio de granos o semillas [3, 4, 5]; sin embargo, los productores de bajos recursos no cuentan con accesos a estos servicios o equipos.

Existe maquinaria para la cosecha, desgrane y limpieza de granos y mazorcas [6], y otras más complejas que deshojan, trillan, clasifican, almacenan y transportan los granos y las mazorcas de maíz [7]. Por otra parte, existen aquellas que limpian y clasifican el grano por forma y tamaño [3, 4, 5], esta maquinaria está diseñada para procesar varias toneladas por hora, lo cual requiere un flujo uniforme de alimentación que en ocasiones un pequeño productor no lo puede realizar. De aquí, la necesidad de diseñar, construir y evaluar un prototipo para clasificar por tamaño y color, con materiales de bajo costo para que sean de fácil acceso a los pequeños y medianos productores.

II. METODOLOGÍA

Diseño conceptual del prototipo clasificador

El clasificador de granos de maíz por tamaño y color inicia su proceso cuando el usuario vierte el grano de maíz sobre la tolva, la cual puede regular el caudal de grano en un 25%, 50%, 75% o 100%. Posteriormente, el grano pasa por las cribas, las cuales son intercambiables por el usuario de acuerdo a las necesidades del mercado; durante el proceso de cribado se clasifican los granos de maíz en chico, mediano y grande que puede ser almacenados en contenedores o directamente continuar a la etapa de clasificación por color. Esta etapa inicia con una banda transportadora que desplaza los granos hacia una matriz de sensores infrarrojos, la cual es la encargada de accionar un actuador mecánico que separa los granos de color azul de los granos blancos. Finalmente, los granos de cada color se depositan en su contenedor respectivo (Figura 1).

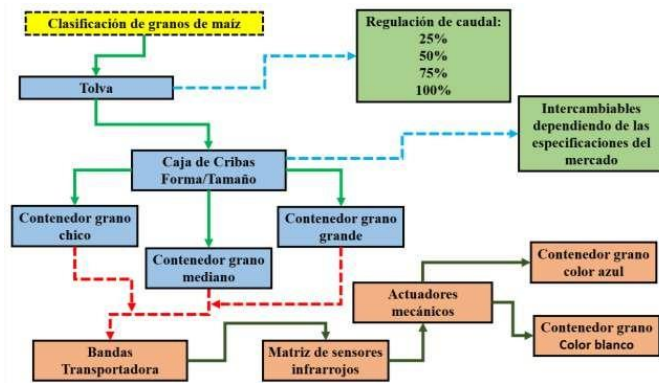


Figura 1 Diseño conceptual del clasificador por tamaño y color de grano de maíz

Construcción del prototipo clasificador

El prototipo consta de: 1) Tolva, 2) Estructura del clasificador por tamaño, 3) Estructura de la caja de cribado, cribas y salidas a contenedores, 4) Mecanismo pendular para movimiento de la caja de cribado, 5) Transición mecánica, 6) Estructura del clasificador por color, 7) Banda transportadora y rodillos, y 8) Sensor de color y Actuador mecánico de separación por color. Para la construcción se utilizaron los siguientes materiales: Lámina de acero negro calibre 14, ángulo de acero negro A36, rodamientos SKF® 6302, perfil redondo de 3/8" de acero negro A36, sensores infrarrojos CNY70, materiales reutilizados como el mecanismo de cremallera de un DVD, la leva de una motocicleta, motores eléctricos y elementos mecánicos. Los métodos, técnicas y herramientas utilizadas fueron: SolidWorks®, Proteus Desing Suite® 8.8, Statistical Analysis System® [8], Taladro, esmeril, planta para soldar, remachadora, martillo, entre otros.

Evaluación del prototipo

La evaluación por forma y tamaño consistió en evaluar 24 tratamientos producto de la combinación de cuatro materiales genéticos (Criollo Rojo Zumpango, Criollo Blanco Zumpango, H-13Az y H-70), dos formas (bola y plano) y 3 tamaños de grano (chico, mediano y grande) en un diseño completamente al azar con 4 repeticiones y una unidad experimental promedio de 500 gramos.

Para evaluar el prototipo por color se realizaron dos evaluaciones. La primera, consistió en calcular la uniformidad del flujo de los granos sobre la banda transportadora desde la caída de grano sobre la banda hasta la caída de los granos clasificados en su respectivo contenedor; en la segunda evaluación se calculó el porcentaje de clasificación por color entre granos blancos y azules.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Funcionamiento del prototipo

El proceso de clasificación de granos de maíz por tamaño y color inicia cuando el usuario activa el sistema de control de encendido/apagado, el cual cuenta con un sistema de protección electromagnética para evitar daños a cualquiera de los elementos eléctricos en caso de existir una descarga eléctrica o un mal uso por parte de usuario. A partir de este momento usuario observa el movimiento del sistema de cribado y la banda transportadora. El siguiente paso a seguir por parte del usuario es alimentar al prototipo. Esto lo realizara dejando caer granos de maíz sobre la tolva (Figura 2). La cual tiene una capacidad de 48000 cm³ o 24.15 kg de granos de maíz, cuenta con un elemento mecánico que le permite regular el caudal de los granos hacia las cribas. Este mecanismo consiste de un perno de acero, el cual le permite al usuario regular el flujo de granos; entre el 25%, 50% o 75% del caudal.



Figura 2 Proceso de alimentación del clasificador de granos de maíz por tamaño y color

Posteriormente, el proceso continúa con el cribado, en donde se separan los granos de maíz por tamaño en grande, mediano y chico. Es importante señalar que, el usuario puede intercambiar las cribas para definir las dimensiones que se desean clasificar otorgando una versatilidad y flexibilidad bajo las especificaciones del usuario, cambios entre algún otro cereal o ser más estricto con las dimensiones solicitadas por los clientes (Figura 2). Después del proceso de cribado, los granos se pueden colocar en contenedores; o bien, continuar con el proceso de clasificación por color, en donde mediante una matriz de sensores se puede clasificar granos entre color blanco y azul.

El proceso de clasificación por color inicia cuando los granos caen del proceso de cribado o bien el usuario puede alimentar directamente la banda transportadora. Los granos se mueven a lo largo de la banda transportadora hasta llegar a la matriz de sensores y mediante un sensor de luz infrarroja, el haz de incide sobre el pericarpio de grano de maíz, determinando el color mediante el índice de refracción del sensor, mediante lógica combinatorial el actuador se acciona si el grano de maíz es de color azul y es separado en un contenedor; en caso de ser color blanco, el grano continua el proceso sobre la banda transportadora hasta ser depositado en su contenedor (Figura 3).

Al terminar esta acción el usuario termina el proceso de clasificación y puede continuar con el envasado del grano.



Figura 3 Prototipo clasificador de granos de maíz por tamaño y color.

Evaluación por tamaño y forma de grano

Se observaron varios grupos relacionados con el porcentaje de granos correctamente clasificados por el prototipo, desde aquellos con un 99% hasta 55% (Tabla 1). El grupo con mayor eficiencia obtuvo valores entre 95% y 99% de clasificación de granos correctos ocupando un 33.33% de total de los materiales genéticos clasificados; por ejemplo: Criollo Rojo Zumpango Bola Chico y el Criollo Rojo Zumpango Plano Chico debido a que ancho, largo y espesor de los granos de maíz se encontraron dentro de las dimensiones establecidas previamente por la clasificación manual de tamaño y forma.

Por otro lado, el grupo entre 90% y 94% al igual que el grupo entre 80% y 89 % ocuparon el 16.66% cada uno de la totalidad de los materiales genéticos evaluados entre los cuales se encontraron como más representativo el H-70 Bola Chico.

Dentro del grupo entre 70% y 79% se encontraron el 12.5% de los materiales evaluados; mientras que, en el último grupo se obtuvo un porcentaje entre 55% y 69%, el cual corresponde a un 20.83%. En general, el prototipo clasificó correctamente por forma y tamaño entre el 50% y 67% los materiales evaluados, considerando una eficiencia entre el 90% y 80%, respectivamente. Es importante, resaltar que los coeficientes de variación se encuentran entre 0.02% y 2.93% (Tabla 1).

Tabla 1.-Porcentajes de granos clasificados correctamente por forma y tamaño por el prototipo clasificador.

Descripción	Media (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
CRZ Bola Chico	99.39	0.20	0.20
CRZ Bola Mediano	54.32	0.97	1.79
CRZ Bola Grande	86.11	1.28	1.48
CRZ Plano Chico	99.63	0.11	0.11
CRZ Plano Mediano	63.98	1.00	1.57
CRZ Plano Grande	92.84	0.30	0.32
CBZ Bola Chico	96.95	0.30	0.31
CBZ Bola Mediano	74.45	0.68	0.92
CBZ Bola Grande	95.32	0.49	0.51
CBZ Plano Chico	96.44	0.34	0.36
CBZ Plano Mediano	73.52	2.05	2.78
CBZ Plano Grande	89.72	0.51	0.57
H-13Az Bola Chico	98.30	0.65	0.66
H-13Az Bola Mediano	54.38	0.84	1.54
H-13Az Bola Grande	86.95	0.60	0.69
H-13Az Plano Chico	98.51	0.21	0.21
H-13Az Plano Mediano	63.56	0.82	1.30
H-13Az Plano Grande	92.32	0.17	0.18
H-70 Bola Chico	92.63	0.80	0.82
H-70 Bola Mediano	66.87	0.71	1.06
H-70 Bola Grande	94.71	0.02	0.02
H-70 Plano Chico	96.15	0.22	0.23
H-70 Plano Mediano	73.73	2.16	2.93
H-70 Plano Grande	88.43	0.45	0.51

CRZ= Criollo Rojo Zumpango, CBZ= Criollo Blanco Zumpango.

Evaluación por Color

El análisis de varianza mostro diferencias significativas entre granos de color azul y blanco en su recorrido por la banda transportadora hacia la matriz de sensado infrarrojo hasta sus respectivos contenedores para la variable velocidad (Tabla 2). Esto debido a la diferencia en distancia 0.34 m y 0.5 m para los granos de maíz azul y blanco, respetivamente; así como, la rugosidad del material que conecta la banda transportadora con los contenedores de almacenamiento. Los granos de color azul tienen una mayor velocidad de recorrido sobre la cinta transportadora que el grano de color blanco (Tabla 2) por que el grano azul recorre menos distancia; así como, recibe un pequeño impulso adicional del actuador mecánico. Se obtuvo un coeficiente de variación de 7.6% y una R² de 0.83.

Tabla 2.- Comparación de medias de las variables velocidad en los granos de maíz color blanco y azul en el prototipo clasificador por color.

Color de grano y parámetros estadísticos	Velocidad (m/s)
Color de grano Azul	0.0695 a
Color de grano Blanco	0.0552 b
Diferencia Mínima Honesta ($\alpha=0.05$)	0.0031
Cuadrado medio de tratamientos	0.0020
Cuadrado medio del error	0.0004
Media	0.0623
Coefficiente de Variación (%)	7.6030
R ² (Coefficiente de Determinación)	0.8382

Los valores en cada columna con letras diferentes son estadísticamente significativos (Tukey, $\alpha=0.05$).

Los resultados de la eficiencia del clasificador por color mostraron que hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos debido a el flujo de los granos de maíz sobre la banda transportadora hacia la matriz de sensado, cuando el flujo es mayor y los granos se traslapan la matriz de sensado puede no identificar los granos de color blanco y quedar atrapados en el actuador mecánico; no deja pasar ningún grano color azul.

En general, se obtuvo una media de 99.79% en la eficiencia del clasificador por color; esto indica que el prototipo tiene una alta eficiencia. Cuando en 100 gramos de grano blanco se colocan entre 1 y 12 granos azules, el clasificador separa correctamente los granos azules de los blancos; en ocasiones, se observó que a partir de un contenido de 13 granos azules puede ocurrir una mala clasificación de 1 grano de maíz de color blanco (Tabla 3).

Tabla 3.- Cuadrados medios, probabilidad y comparación de medias para la variable eficiencia en la separación de granos de maíz color azul y blanco.

Varietades de maíz	Eficiencia (%)
100 gramos de H-70 (Blanco) + 1 grano de H-13Az (Azul)	100.00a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 2 grano de H-13Az (Azul)	100.00a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 3 grano de H-13Az (Azul)	100.00a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 4 grano de H-13Az (Azul)	100.00a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 5 grano de H-13Az (Azul)	99.90 ^a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 6 grano de H-13Az (Azul)	99.90 ^a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 7 grano de H-13Az (Azul)	100.00a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 8 grano de H-13Az (Azul)	99.80 ^a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 9 grano de H-13Az (Azul)	99.80 ^a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 10 grano de H-13Az (Azul)	99.80 ^a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 11 grano de H-13Az (Azul)	99.70 ^a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 12 grano de H-13Az (Azul)	99.70 ^a
100 gramos de H-70 (Blanco) + 13 grano de H-13Az (Azul)	99.02b
100 gramos de H-70 (Blanco) + 14 grano de H-13Az (Azul)	99.61ab
100 gramos de H-70 (Blanco) + 15 grano de H-13Az (Azul)	99.61ab
Diferencia Mínima Honesta	0.66
Cuadrado medio de tratamientos	9.56**
Cuadrado medio del error	3.31
Media	99.79
Coefficiente de Variación (%)	2.05
R ² (Coefficiente de Determinación)	0.49

IV. CONCLUSIONES

Para diseñar y construir un clasificador de granos de maíz es importante hacer uso de las diferentes disciplinas como la agronomía, la electrónica, la eléctrica, la mecánica y la manufactura, para encontrar una solución integral y rápida.

El prototipo clasificador está construido por dos módulos el primero separa por forma y tamaño el cual tiene un sistema de encendido, alimentación, cribado y contenedores; y el segundo separa por color y está constituido por un sistema de por banda transportadora, una matriz de sensado infrarrojo, un actuador mecánico y contenedores.

En la evaluación del prototipo clasificador se encontraron eficiencias para forma y tamaño de grano entre 90% y 94%, 80% y 89%, 70% y 79% y 55% y 69%; así como, una eficiencia por color promedio de 99.79%.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el apoyo económico brindado para continuar con mis estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- [1] Alcocer Tello L. G., Iza Carbajal A.D., Clasificadora de maíz duro seco mediante un sistema de visión artificial para la distribuidora de granos y harinas DANHALU, Tesis de Licenciatura. Ingeniería Mecatrónica, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí, Ecuador. 180 p, 2017.
- [2] Gaytán-Martínez, M., Figueroa-Cárdenas, J. D., Reyes-Vega, M.L., Morales-Sánchez, E., Rincón-Sánchez, F., Maize landraces selection for industrial end use based on their added value. Revista Fitotecnia Mexicana. 36(SUPPL.3):339-346, 2013.
- [3] SUMINSA, Inspection Systems, Soluciones para la selección de semillas y granos, optimización de procesos, 2020. <https://suminsaindustria.com/productos/seleccionadoras-por-color-2/>,
- [4] TOMRA, Máquina Clasificadora y Seleccionadora de Maíz y Semillas zea de TOMRA. 2020. <https://www.tomra.com/es-es/food/categories/seeds-and-grains>
- [5] HEGAMEZ, Cribadoras para granos,2020. https://www.hegamex.com/cribadoras?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw-e6-BhDmARIsAOxIxVbR0vtLxCuz49OE4Yyt-pmfuWa837Xalmi5Fhs0HWIVcc0pBq8GFQaAp_cEALw_wcB.
- [6] Sun, Y. and Wang, H., Method and device for computer visual inspection classification of quality of fresh corn ears, Jilin University. Patente CN101957313 (A, B), 2011.
- [7] Chunjing, W., Jinyong, L., Xiaoguang, C., Hui, R., Xueyu, W., Zhenrong, T., Zhu O., Self-propelled shelled corn and corncob classification harvester. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS. Patente CN103548483 (A, B). 2014.
- [8] SAS (Statistical Analysis System) Institute SAS/SAT User's Guide. Version 9.3 SAS Institute Inc. Cary N.C. 943 p. 2014.