



FACULTAD DE POSGRADOS

DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MEDIR LA HUMEDAD DE LOS GRANOS DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays L.*), MEDIANTE EL SISTEMA DE VISIÓN EN ESPECTRO VISIBLE POR COMPUTADORA.

Autor

Luis Reinaldo Reyes Calva

Año  
2019



**FACULTAD DE POSGRADOS**

**DISEÑO Y VALIDACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA MEDIR LA HUMEDAD DE LOS GRANOS DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays L.*), MEDIANTE EL SISTEMA DE VISIÓN EN ESPECTRO VISIBLE POR COMPUTADORA.**

**Trabajo de titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos para optar por el título de Magister en Agroindustria con Mención en Calidad y Seguridad alimentaria**

**Profesor Guía**

**PhD Héctor Abel Palacios Cabrera.**

**Autor**

**Luis Reinaldo Reyes Calva**

**Año**

**2019**

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Diseño y validación de un dispositivo para medir la humedad de los granos de maíz amarillo (*Zea mays* L.), mediante el sistema de visión en espectro visible asistido por computadora, a través de reuniones periódicas con el estudiante Luis Reinaldo Reyes Calva, en el semestre 201900, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

-----  
Héctor Abel Palacios Cabrera  
Doutor em Tecnología de Alimentos  
C.I: 0912277480

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado el trabajo, Diseño y validación de un dispositivo para medir la humedad de los granos de maíz amarillo (*Zea mays L.*), mediante el sistema de visión en espectro visible asistido por computadora, del estudiante Luis Renaldo Reyes Calva, en el semestre 201900, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

-----

Valeria Clara Almeida Streitwieser

Masterado en el Estudio de la Tecnología y Biotecnología de Alimentos

CC: 1709603078

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

-----  
Luis Reinaldo Reyes Calva

C.I: 1104997257

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por las bendiciones. A los docentes, Héctor Palacios, Omar Flor y Valeria Almeida, por sus conocimientos, sugerencias y apoyo del presente trabajo. A la Dirección General de Investigación de la UDLA, por su apoyo en lo: económico, áreas de trabajo y laboratorios.

## **DEDICATORIA**

Dedico con mucho cariño a mis padres Fernando Reyes y Cruz Calva, por confiar y creer en mí, por sus consejos, valores inculcados y su amor incondicional, a mis hermanos por su apoyo e inspiración en todos estos años, ya que gracias a ello he logrado llegar hasta aquí.

## RESUMEN

En el Ecuador la producción de maíz representa el 7% de la producción agrícola nacional, genera 189 326 plazas de trabajo, garantiza la seguridad alimentaria y es la materia prima para la elaboración de alimentos balanceados. Se cultiva en casi todas las provincias, donde se siembran 29 variedades: 17 en la sierra y 12 en la costa y amazonia, por ello se debe generar prácticas de manejo y control de este cultivo. La humedad del grano, humedad relativa y temperatura del ambiente son factores que determinan la calidad, inocuidad y durabilidad a través del tiempo. El objetivo de la presente investigación fue diseñar y validar un dispositivo para medir la humedad del maíz, mediante el sistema de visión en espectro visible por computadora. Por lo tanto, para la calibración y funcionamiento se elaboraron patrones de 10, 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30 y 35%, evaluados y acondicionados bajo NTE INEN 6540:2013. El dispositivo consta de cinco componentes: base iluminada de luz tipo LED, cápsula transparente para colocación de muestras, pirámide truncada como protector de la luz externa, cámara de 2160x2160 pixeles y el software MATLAB R2015b. La determinación de la humedad consiste en: capturar imágenes en formato JPG, se descompone la imagen en RGB, donde el color rojo es predominante, el mismo que se relaciona con la humedad, luego se convierte a escala gris, se elimina colores blancos, negros y oscuros para evaluar la intensidad y/o dispersión del color. Se obtuvo una curva polinómica de grado 6 negativa que tiende a disminuir del 10.3 al 34.1%, donde estadísticamente se comprobó que el método INEN 6540 y visión, es igual del 10.30 al 16%, con un margen de error  $<1$  aun punto, mientras que, del 20 al 35% se observa una desviación de  $\pm 1.89$  a  $\pm 3.95\%$ . Al final se comparó el equipo con INEN e Impedancia, donde no existen diferencias al medir del 10 al 35% entre INEN y visión con un error de  $\pm 0.53\%$ , a discrepancia del método de impedancia del 20% en adelante, el resultado es erróneo con 11 puntos porcentuales.

**Palabras claves:** maíz amarillo, humedad, INEN 6540:2013, sistema de visión artificial, impedancia.



## ABSTRACT

In Ecuador, corn production accounts for 7% of national agricultural production, in which generates 189,326 jobs, guarantees food security and is the raw material for the production of balanced foods. It is grown in almost all the provinces, where 29 varieties are sown, of which 17 in the highlands and 12 in the coast of Amazon, that is why management and control practices must be generated throughout the production chain. The humidity of the grain, relative humidity and temperature of the environment are factors that determine the quality, innocuousness and durability through time. The objective of the present investigation was to design and validate a device to measure the humidity of corn, through the system of vision in visible spectrum by computer. Therefore, for calibration and operation, measurement of 10, 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30 and 35% were developed, evaluated and conditioned under NTE INEN 6540: 2013. The device consists of five components: illuminated base of light type LED, transparent capsule for placement of samples, truncated pyramid like protector of the external light, camera of 2160x2160 pixels and software MATLAB R2015b. The determination of humidity consists of: capturing images in JPG format, decomposing the image in RGB, where the red color is predominant, the same one that is related to humidity, then it is converted to gray scale, it eliminates white, black colors and dark to evaluate the intensity and / or dispersion of the color. A negative degree 6 polynomial curve was obtained, which tends to decrease from 10.3 to 34.1%, where it was statistically verified that the INEN 6540 method and vision is equal to 10.30 to 16%, with a margin of error <1 point, while that, from 20 to 35%, a deviation of  $\pm 1.89$  to  $\pm 3.95\%$  is observed. In the end the equipment was compared with INEN and Impedance, where there are no differences when measuring from 10 to 35% between INEN and vision with an error of  $\pm 0.53\%$ , at the discrepancy of the impedance method of 20% onwards, the result is wrong with 11 percentage points.

**Keywords:** yellow corn, humidity, INEN 6540: 2013, artificial vision system, impedance.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Justificación .....	3
1.2. Alcance .....	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Hipótesis de investigación para la comparación de métodos.....	5
1.4.1. Hipótesis nula .....	5
1.4.2. Hipótesis alternativa .....	5
2. MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1. Generalidades del cultivo de maíz .....	6
2.2. Cadena de valor del maíz .....	7
2.3. Características generales del maíz amarillo .....	8
2.3.1. Características físicas .....	8
2.3.2. Características de calidad e inocuidad del maíz .....	8
2.4. Importancia de la humedad en el manejo de granos.....	9
2.4.1. Mermas ocasionadas por la humedad.....	9
2.4.2. Efectos ocasionados por el mal manejo de la humedad en la salud animal y humana.....	10
2.5. Métodos existentes para medir humedad en granos.....	10
2.6. La visión artificial .....	13
2.6.1. Etapas de la visión artificial como herramienta de control de calidad.....	14
2.6.1.1. Captura y extracción de imágenes .....	14
2.6.1.2. Pré-processamento y procesamiento.....	14
2.6.1.3. Segmentación .....	15
2.6.1.4. Reconocimiento e interpretación de datos .....	15
2.7. Uso de la visión artificial en la industria alimentaria.....	15

3.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
3.1.	Materiales.....	16
3.1.1.	Materiales de laboratorio para elaboración de patrones.....	16
3.1.2.	Materiales para el diseño del prototipo de visión artificial.....	17
3.2.	Metodología .....	17
3.2.1.	Elaboración de patrones de medida .....	18
3.2.2.	Diseño del prototipo de visión artificial por computador. ....	20
3.2.3.	Captura de imágenes en el dispositivo creado .....	23
3.2.4.	Determinación de humedad mediante el análisis de imágenes en Matlab R2015b.....	24
3.2.5.	Ajuste de la medición de la humedad.....	27
3.2.6.	Validación del dispositivo de visión .....	28
3.2.7.	Comparación de metodologías para medir la humedad .....	29
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1.	Diseño del dispositivo de visión en espectro visible .....	31
4.1.1.	Base iluminada.....	31
4.1.2.	Cápsula para colocar las muestras a analizar .....	32
4.1.3.	Protector de luz externa .....	33
4.1.4.	Cámara fotográfica .....	33
4.1.5.	Computador con software para análisis. ....	34
4.2.	Preparación de patrones de medida.....	35
4.2.1.	Determinación del contenido de humedad inicial .....	35
4.2.2.	Acondicionamiento de los patrones de medida. ....	36
4.2.3.	Ensayo de homogeneidad de los patrones de medida. ....	38
4.3.	Determinación de la humedad en el dispositivo de visión ....	40
4.3.1.	Prueba de homogeneidad del dispositivo de visión.....	43
4.4.	Validación del dispositivo de visión.....	43
4.4.1.	Ensayo de linealidad y sensibilidad .....	43
4.4.2.	Ensayo de exactitud .....	45

4.5. Comparación de metodologías y desempeño del dispositivo .....	47
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	55
5.1. Conclusiones .....	55
5.2. Recomendaciones .....	57
REFERENCIAS .....	58
ANEXOS .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos para la determinación de la humedad en granos de maíz .....	11
Tabla 2. Diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 9 con 5 repeticiones.....	30
Tabla 3. Número tratamientos evaluados en la comparación de metodologías para determinar humedad del maíz amarillo. ....	30
Tabla 4. Resultados de comprobación de humedad inicial, mediante la norma NTE INEN-ISO 6540:2013. ....	36
Tabla 5. Resultados de la determinación de la cantidad de agua a añadir para el patrón de medida del 14%, mediante la ecuación de GOUGH (1983). ....	37
Tabla 6. Desviación estándar de cada patrón de medida acondicionado de maíz amarillo duro.....	38
Tabla 7. Análisis de varianza de la homogeneidad de cada patrón de medida acondicionado. ....	39
Tabla 8. Determinación de humedad del maíz amarillo en el dispositivo de visión. ....	40
Tabla 9. Estadísticos utilizados para la determinación de humedad del maíz amarillo con el dispositivo de visión. ....	42
Tabla 10. Análisis de varianza de la homogeneidad del dispositivo de visión en la determinación de humedad en maíz amarillo. ....	43
Tabla 11. Resultados del análisis de imágenes realizadas en Matlab de patrones de medida de maíz amarillo .....	44
Tabla 12. Desviación estándar de la comparación de las dos metodologías frente al dispositivo de visión creado.....	47
Tabla 13. Análisis de la varianza de la comparación de metodologías en la determinación de humedad en maíz amarillo.....	51
Tabla 14. Análisis de medias de las metodologías utilizadas para la determinación de humedades en maíz amarillo duro.....	51
Tabla 15. Comparación de medias de los patrones de medida acondicionados...	52
Tabla 16. Interacción entre las metodologías y los niveles de humedad evaluados en la determinación de humedad del maíz amarillo.....	53

Tabla 17. Ecuación de regresión y coeficiente de correlación, mediante la utilización de dos metodologías frente al dispositivo de visión.....	54
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Países con mayor rendimiento en la producción de maíz a nivel mundial.....	6
Figura 2. Medidor de humedad de los granos AgraTronix MT – 16. ....	12
Figura 3. Medidor de humedad Stainlite Moisture Tester - Impedancia. ....	13
Figura 4. Lámpara LED de 80 vatios 15 x150 mm, utilizada en el diseño del dispositivo de visión. ....	20
Figura 5. Partes y los materiales, utilizadas para la construcción de la cápsula. ..	21
Figura 6. Protector de luz externa en forma de pirámide del dispositivo de visión. ....	22
Figura 7. Protector de luz externa en forma de pirámide del dispositivo de visión. ....	22
Figura 8. Diagrama de flujo del uso del dispositivo de visión. ....	23
Figura 9. Descomposición de canales RGB a partir de una imagen de maíz amarillo duro.....	24
Figura 10. Imágenes analizadas en Matlab R2015b en contraluz, y zona de rojo dominante donde sobrepasa el límite especificado. ....	25
Figura 11. Comportamiento típico del porcentaje de rojo dominante en las imágenes del grano de maíz amarillo duro.....	26
Figura 12. Procedimiento para realizar el análisis y determinación de humedad, después de una imagen. ....	27
Figura 13. La imagen 1 represente las partes de la cápsula, la 2 corresponde al diseño final de la cápsula porta muestras. ....	32
Figura 14. Imagen A, partes del protector de luz del dispositivo e imagen B se equipo en funcionamiento para la captura de imágenes. ....	34
Figura 15. Dimensiones y preparación de una imagen de maíz amarillo para el análisis en MATLAB R2015b.....	35
Figura 16. Curva de humedad, determinada con el dispositivo de visión en espectro visible ....	41
Figura 17. Linealidad y sensibilidad del dispositivo de visión con relación a la humedad del maíz amarillo. ....	45

Figura 18. Ensayo de exactitud del dispositivo de visión frente a la metodología INEN 6540:2013, del maíz amarillo.....	46
Figura 19. Desviación estándar de la comparación de las dos metodologías frente al dispositivo de visión.....	48
Figura 20. Comparación y desempeño del dispositivo de visión frente a otras metodologías.....	49



## 1. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador la producción de maíz representa el 7% de la producción agrícola nacional, es considerada como una de las principales cadenas alimentarias que genera plazas de trabajo, garantiza la calidad y seguridad alimentaria, es la principal materia prima para la elaboración y fabricación de alimentos balanceados (Baca y Cordero, 2016). Según el INEN (2017) este cultivo genera 189,326 fuentes de empleo, de las cuales: el 80% son trabajadores sin remuneración, el 15% son remunerados ocasionalmente y el 5% son permanentemente.

El cultivo se siembran en casi todas las provincias del país, donde se cultivan alrededor de 29 variedades, de las cuales: 17 se siembran en la sierra y 12 en la costa y amazonia (Yáñez, Zambrano, Caicedo y Heredia, 2013). Con respecto al maíz amarillo se obtenido una producción de 1.2 millones de toneladas en el 2017, con un rendimiento promedio de 105 qq/ha (BCE, 2018).

La agroindustria ecuatoriana concentra el 80% de la producción total de maíz para la elaboración de alimentos balanceados, repartida en tres grandes empresas AFABA, PRONACA y APROBAL (Baca y Cordero, 2016). En la cual la materia prima debe cumplir con parámetros de calidad e inocuidad, es decir: humedad al 13.0%, materias orgánicas extrañas 1.5%, suciedad 7%, granos defectuosos 0.5% y granos infectados 0.5%, para poder ingresar la producción a estas empresas.

Es por ello, que se debe generar prácticas de manejo y control de calidad en toda la cadena productiva, con el fin de controlar las condiciones ambientales que rodean al grano, entre ellas el contenido de humedad y la temperatura del ambiente. Blanco, Durañona y Acosta (2016) afirman que se debe monitorear estos parámetros debido a que, a mayor temperatura y humedad, mayor será el crecimiento microbiano e insectos en los granos almacenados.

Las etapas donde se debe monitorear, controlar la humedad y temperatura son: en la postcosecha, comercialización, transporte, almacenamiento e

industrialización, ya que en este periodo el grano origina actividades metabólicas y de latencia, generando energía, agua y sitios de calentamiento, que dan origen a riesgos de contaminación, pérdidas de inocuidad y calidad por el infestación de hongos y plagas (Hernández, Rodríguez, Niño, y Pérez, 2009).

Es por ello, que es necesario la generación de investigación y tecnología de punta para la determinación de la época correcta para realizar la cosecha, el estado de almacenamiento y conservación de los granos a través del tiempo. Donde los principales indicadores de control son: la humedad del grano, humedad relativa y temperatura del ambiente, ya que de ellos depende la calidad, inocuidad y durabilidad del grano (Rosas, Muñoz, Valverde, Salgado y Bellon, 2007).

La presente investigación hace referencia al diseño, creación y validación de un dispositivo para medir la humedad de los granos de maíz amarillo (*Zea mays*), mediante el sistema de visión en espectro visible, asistido por computadora. Teniendo en cuenta que en la actualidad no existen equipos validados y patentados bajo este principio de determinación.

La visión en espectro visible o artificial, es la simulación de procesos visuales igual que los seres humanos, es decir que, si el hombre puede transmitir imágenes tomadas por medio de la vista y analizarlas, utilizando impulsos enviados al cerebro e interpretarlos, entonces una máquina a través de una cámara web, puede tomar imágenes y enviarlas a un procesador programado para analizar sus atributos, características e interpretación de variables y luego arrojar un resultado (Zapata, Velásquez y Pardo, 2016).

La visión en espectro visible o artificial en la actualidad se utiliza en la agricultura de precisión, para la: minimización del uso de pesticidas, determinación de deficiencias nutricionales por zonificación logrando el incremento de la producción, cálculo del momento óptimo para realizar las cosechas, entre otras funcionalidades. Mientras que, en el sector agroindustrial

se utiliza en el mejoramiento de procesos y control de calidad (García y Caranqui, 2015).

En el mejoramiento de procesos y control de calidad las industrias, universidades y centros de investigación han estado indagando cómo aplicar y cómo mejorar los sistemas de la visión en espectro visible o artificial, en la clasificación cuantitativa y cualitativa de diversos atributos físicos como: el tamaño, defectos, la morfología, el color, las propiedades de textura. Lo más importante de esta tecnología es que se puede automatizar y programar, ya que no es destructiva, es rápida, precisa, objetiva, y evita la inspección humana que en jornadas largas tiende a ser costosa, subjetiva e imprecisa por el agotamiento laboral del personal (Romero, Marín y Jiménez, 2015).

### **1.1. Justificación**

Al ser el maíz higroscópico, es decir que, puede absorber o evaporizar humedad del ambiente hasta que se produzca un equilibrio entre la humedad del aire y la humedad del grano, es por ello, es primordial el control de la humedad desde el momento de la cosecha, secado, transporte, acopiamiento, industrialización, con el fin de evitar daños, el desarrollo de hongos patógenos y la aparición de enfermedades (López, 2012).

El control del contenido de humedad es de gran importancia en toda la cadena de valor de todos los granos, ya que influye de manera directa en la calidad, inocuidad y conservación de los granos al almacenarlos, comercializarlos e industrializarlos. Además, sirve para establecer criterios de calidad, precios en la comercialización y garantías al consumidor.

La generación de esta nueva metodología de visión artificial para el control de la humedad del maíz en grano es de gran interés para; pequeños, medianos y grandes productores ya que le permite definir la época correcta para realizar la cosecha y dejar atrás prácticas culturales que solo generan pérdidas, desperdicios en el acarreo, secado. Además, son estafados por los compradores debido a que no cuentan con un equipo para medir la humedad al

momento de vender, por ello, utilizan prácticas ancestrales que les causa pérdidas y desperdicios, pagos injustos y castigos por mala calidad y humedades altas.

El objeto de la investigación es presentar un equipo de bajo costo y fácil manejo que pueda ser comercializado y difundido en el sector agropecuario. Este equipo permitirá medir la humedad de especies gramíneas, cuyo valor será de ayuda para conocer el estado de los productos y ser comercializados a tiempo.

## **1.2. Alcance**

Este proyecto tiene la finalidad de realizar el diseño, creación y validación de un dispositivo para medir el contenido de humedad del maíz amarillo, utilizando la visión artificial en espectro visible asistido por computadora, con las siguientes características: de fácil manejo, material resistente, duradero, portable de bajo costo, con un diseño para el sistema de visión artificial, con un análisis rápido de las características de la muestra, mediante la programación de un software matemático computarizado para la determinación de la humedad, el mismo que garantizará el control, monitoreo de la humedad del maíz y desarrollo del sector agropecuario.

El equipo será destinado y accesible para productores pequeños y medianos, compradores de maíz como materia prima, comercializadoras, plantas de almacenamiento y empresas industrializadoras de balanceados.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Diseñar y validar un dispositivo para medir la humedad de los granos de maíz amarillo (*Zea mays*), mediante el sistema de visión en espectro visible asistido por computadora.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un dispositivo portable de bajo costo mediante el sistema de visión en espectro visible asistido por computadora para medir la humedad de los granos de maíz amarillo.
- Validar el dispositivo de visión en espectro visible para medir humedad de los granos de maíz, con ensayos de: exactitud, linealidad, sensibilidad, frente a un patrón de referencia NTE INEN ISO 6540 (2013).
- Comparar el dispositivo creado con metodologías de referencia: INEN 6540:2013 e impedancia, utilizados para la determinación de la humedad del maíz, con el fin de comprobar su desempeño frente a estos métodos.

### **1.4. Hipótesis de investigación para la comparación de métodos.**

#### **1.4.1. Hipótesis nula**

$H_0$  = No existen diferencias significativas en la determinación de la humedad del maíz amarillo duro entre el método de visión, frente a los métodos de referencia INEN 6540:2013 e impedancia.

#### **1.4.2. Hipótesis alternativa**

$H_1$  = Si existen diferencias significativas en la determinación de la humedad del maíz amarillo duro entre el método de visión, frente a los métodos de referencia INEN 6540:2013 e impedancia.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Generalidades del cultivo de maíz

En el Panorama Agroalimentario del Maíz, desarrollado en México (2016) se acordó, que de acuerdo con las características nutricionales de esta gramínea, se utiliza para la alimentación humana, animal e industrial, por lo tanto, se ha convertido en uno de los productos de mayor importancia en los mercados internacionales. La FAOSTAT (2019) informó que la producción mundial cosechada en el 2018, fue de 750.642.451,56 de toneladas, donde el Continente Americano ocupa el primer lugar, con una producción de 397.100.139,91 (52.5%), seguido de Asia con 214.118.026,39 (29%), posteriormente Europa con 85.303.032,39 (11,2%), luego África con 53.543.149,87 (7.2%) y Oceanía con 578.103,09 (0.1%).



*Figura 1.* Países con mayor rendimiento en la producción de maíz a nivel mundial.

Tomado de (FAOSTAT, 2017).

Mientras que los países con mayor rendimiento en la producción de maíz en toneladas por hectárea a nivel mundial son: Israel, Grecia, Groacia, Kazajstán, Estados Unidos de América, Francia, Australia, Emiratos Árabes, Chile y San Vicente; como se observa en la figura 1.

Según datos reportados por el MAG (2017), la producción nacional para el año 2017, se observó un incremento del 12% con respecto al año anterior, debido al incremento de la siembra y rendimiento del cultivo 1474,048 toneladas, con un rendimiento de 5.62 t/ha.

## **2.2. Cadena de valor del maíz**

La actores que participan en la cadena productiva del maíz es muy larga, entre los cuales tenemos: proveedores de servicios y asesoramiento técnico, empresas comercializadoras de tecnologías, insumos, maquinaria, equipos, productores pequeños, medianos y grandes, transportistas, industrias de alimentos balanceados, comercializadores, ensiladoras de almacenamientos, agroexportadores, distribuidores y consumidor final (Fretes y Martínez, 2011).

El cultivo de maíz en el Ecuador tiene importancia económica, social y alimentaria a nivel nacional; donde está cadena productiva representa el 3% del PIB agrícola del país. Se cultiva casi a nivel nacional, donde el 80% de la producción se concentra en la Región Costa: Los Ríos 40%, Manabí 18%, Guayas 19%, Esmeraldas y El Oro 3%, mientras que la Región Sierra ocupa el 17 % (Loja y Bolívar), la Amazonia el 3% (Quiroz y Merchan, 2016).

En el país la cadena productiva está concentrada en grandes eslabones, entre ellos: proveedores de insumos agropecuarios, productores, comercializadores, agroindustria, producción pecuaria y consumidores. El 70% de la producción nacional está destinada para la elaboración de alimentos balanceados en la producción pecuaria: avícola, porcícola, ganado vacuno, caballar, piscícola, cobayos, entre otros; representada por tres grandes industrias: AFABA, PRONACA Y APROBAL.

## **2.3. Características generales del maíz amarillo**

### **2.3.1. Características físicas**

La estructura física de los granos de maíz se caracteriza por: una cubierta o envoltura, el endospermo y germen. La cubierta protege a la semilla y reduce el intercambio de medio exterior, la cual puede ser atravesada por microorganismos y gases. El endospermo constituye casi la totalidad del grano, que se presenta en forma de carbohidratos (almidón) y es la reserva de la semilla o la materia prima para el procesamiento de alimentos. El germen es el embrión que da origen a una nueva planta, representa el 11% del total de grano.

El maíz es de tipo higroscópico, es decir, que puede absorber agua en forma de vapor del ambiente en donde se encuentra. Los granos secos expuestos a un aire húmedo absorben agua del aire e incrementan su humedad, mientras que los granos húmedos puesto al ambiente liberan aire a la humedad y secan (Cespón, Curbelo, Varela, y García, 2015).

### **2.3.2. Características de calidad e inocuidad del maíz**

De acuerdo con la NTE INEN 187 (2013), el maíz como materia prima para la elaboración de alimentos balanceados para la alimentación animal, debe cumplir los siguientes parámetros de calidad e inocuidad para que sea considerado como alimento: 13.0%, de humedad, 1.5% materias orgánicas extrañas, 7% de suciedad, 0.5% de granos defectuosos y 0.5% de granos infectados.

Mientras que la norma técnica del CODEX STAN 153 (1985), el maíz en grano debe cumplir los siguientes parámetros de calidad: libre de olores extraños, insectos vivos o muertos y suciedad que cause riesgo para la salud. El contenido de humedad no debe ser mayor al 15.5%, la presencia de suciedad e impurezas 0.1%, libre de semillas y plantas tóxicas, debe estar exento de



metales pesados, residuos de plaguicidas agrícolas y debe ajustarse a los límites permitidos para micotoxinas.

## **2.4. Importancia de la humedad en el manejo de granos**

El manejo y control de la humedad es imprescindible al momento de realizar la cosecha, ya que si no se controla este parámetro se puede volver un problema económico, como logístico, ya que no solo se reduce el volumen del grano, sino que bajan las ventas, se vende más barato y puede existir el ataque de plagas y enfermedades (Blanco et al., 2016).

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en el interior de una masa total o respecto a una masa seca. López (2012) manifiesta que los granos son higroscópicos, es decir adsorben o evaporan agua al ambiente de acuerdo con la condición en la que se encuentren, es por ello, que se debe manejar o medir este parámetro en: la cosecha, secado, transporte, almacenamiento y procesamiento; con el fin de evitar pérdidas en la comercialización puesto que, el precio en el comercio se establece en base al contenido de humedad y a la calidad del producto.

### **2.4.1. Mermas ocasionadas por la humedad**

Se debe realizar la cosecha, cuando el grano tenga alrededor de 30% de humedad, ya que se considera que en esta etapa el cultivo ya alcanzó la madurez fisiológica; de allí en adelante se somete a operaciones de limpieza, secado y clasificación con el fin de potenciar su conservación y durabilidad. Para saber la humedad de la gramínea se determina por métodos artificiales, equipos electrónicos, determinación en forma matemática o metodologías estandarizadas por diferencia entre el peso de entrada y el peso de salida del secador (García, Dussan, y Gutiérrez, 2012).

La merma por humedad es la pérdida/reducción natural o normal del material debido al secado, en este caso, para calcular la merma del maíz amarillo duro se realiza de acuerdo con la NTE INEN 187 (2013) donde el maíz debe tener

13.0%, de humedad, para su almacenamiento y conservación. Las humedades por encima de este porcentaje se deben calcular la merma con el fin de garantizar un comercio justo y durabilidad.

Mientras que Rousseau y FAO para America Latina y El Caribe (1984), determinaron que el maíz alcanza la madurez fisiología cuando el grano llega a los 38-38% de humedad y debe realizarse la cosecha mecanizada cuando alcance el 28% y luego disminuir hasta la humedad deseada.

#### **2.4.2. Efectos ocasionados por el mal manejo de la humedad en la salud animal y humana**

Para la conservación de granos y semillas es primordial el manejo, monitoreo y control de la humedad del grano, temperatura, luminosidad y humedad relativa; ya que de estas condiciones dependen las propiedades físicas-químicas y biológicas de los granos, los mismo que pueden ser utilizados para la germinación de una nueva planta, para la alimentación humana o animal (Blanco et al., 2016).

Se calcula que anualmente el 25% de los granos son infestados por los tres principales hongos micotoxigénicos: *Aspergillus*, *fusarium* y *Penicillum*, los mismos que segregan toxinas como la: *Aflatoxinas B1 y B2*, *Ocratoxina A*, *Fumonisina B1*. Por lo tanto, si el maíz se contamina con estas toxinas utilizado para la alimentación animal, en los animales puede provocar la caída en el consumo diario de alimentos, reducción en la ganancia de peso, presencia de enfermedades de tipo inmunodepresión, daño de órganos vitales e interrupción en la capacidad reproductiva (Ferraguti , y otros, 2018).

#### **2.5. Métodos existentes para medir humedad en granos**

La FAO (2012) menciona que el tiempo de almacenamiento y conservación de los granos depende de la humedad y la temperatura de los granos, puesto que si se almacena a una temperatura bajo (10°C) y a una humedad del 14% el periodo de conservación es de 256 días. Mientras que si el grano es

almacenado a una temperatura de 21.1°C y una humedad de 20%, a los cuatro días de almacenamiento se puede observar la presencia de hongos, insectos o moho.

Actualmente, la medición de la humedad de los granos a nivel de productor y acopiador es crítica en la toma de decisiones para el almacenamiento, conservación y comercialización ya que los productores no cuentan con un equipo fácil, preciso y rápido para determinar este valor con el fin de saber si es necesario secar o acondicionar el producto, por lo tanto, utilizan prácticas tradicionales y culturales mantenidas durante el paso del tiempo (Abadía y Bartosik, 2013).

La determinación de la humedad existen diferentes equipos y métodos validados. López (2012) afirma que existen diferentes métodos para determinar la humedad: método de referencia internacional gravimetría secado en estufa bajo el principio de pérdida de masa, técnica de radiación por microondas e infrarrojo, resistividad eléctrica/impedancia, capacitancia mediante el cambio de la constancia dieléctrica, coulometría (karl-fisher) mediante una reacción química selectiva con el agua.

Tabla 1.

*Métodos para la determinación de la humedad en granos de maíz*

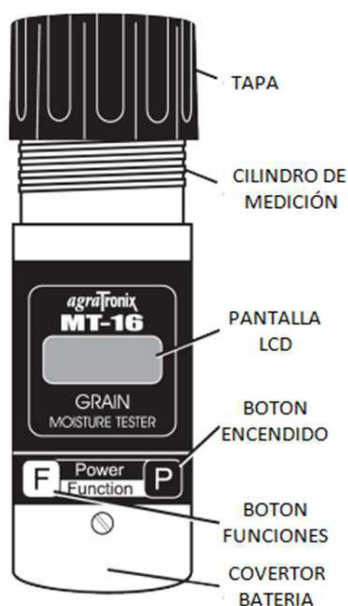
<b>Método</b>	<b>Principio de Operación</b>
Gravimetría/estufa	Pérdida de masa por secado
Microondas	Absorción de microondas
Resistividad/impedancia	Cambio de resistencia eléctrica
Capacitancia	Cambió de la constancia dieléctrica
Coulometría (karl-fisher)	Reacción química selectiva con el agua
Espectroscopia infrarroja	Absorción de radiación infrarroja.

Tomado de (Martines, 2006).

Actualmente en el mercado los equipos más utilizados para determinar la humedad son los de capacitancia, impedancia y espectroscopia Infrarroja. Los equipos de capacitancia, son rápidos en la entrega de resultados, con una precisión de +/-0.2% de humedad (Abadía y Bartosik, 2013).

El método de gravimetría de masas es el de mayor confiabilidad debido a su principio de determinación, el mismo que consiste en el secado en estufa por pérdida de masas. Es por ello que, el Servicio Ecuatoriano de Normalización – INEN presentó el método de referencia para determinar la humedad del maíz: granos molidos y granos enteros, la NTE INEN ISO 6540 (2013), el mismo que es un método básico de referencia para determinar la humedad del maíz, requiere de conocimientos específicos y personal experimentado, equipos de laboratorio especializados, aplicables a muestras con humedades hasta superiores al 40%. Mientras que los otros métodos eléctricos descritos anteriormente solo miden hasta el 20% de humedad.

En el mercado existe el medidor de humedad de granos, denominado AgraTronix MT – 16, bajo el principio de cambio de la constancia dieléctrica – capacitancia. Es considerado como un equipo multipropósito que mide la humedad desde el 5 al 35%, el mismo que se caracteriza de arrojar el resultado de manera automática, es de fácil manejo, fácil de usar, es un cilindro de acero inoxidable y tiene la capacidad de almacenar los resultados; entre otras características (Viaindustrial, 2010).



*Figura 2.* Medidor de humedad de los granos AgraTronix MT – 16.

Tomado de (Viaindustrial, 2010).

Otro de los equipos más utilizados en los laboratorios es el medidor *Stainlite Electronic Tester*; funciona bajo el principio del cambio de resistencia dieléctrica – impedancia, el mismo que se caracteriza por ser rápido, no destruye la muestra, es ampliamente utilizado en los laboratorios de análisis, industrias y en la agricultura. El equipo es muy preciso hasta la humedad del 20%, muestras con humedades superiores a este valor, su resultado es erróneo y falso.



*Figura 3.* Medidor de humedad Stainlite Moisture Tester - Impedancia.

Tomado de (INIAP, 2019).

## **2.6. La visión artificial**

Es la simulación de procesos visuales, igual que los seres humanos en donde el hombre puede transmitir imágenes, tomadas por medio de la vista y analizarlas utilizando impulsos enviados al cerebro e interpretarlos, entonces una máquina a través de una cámara web, puede tomar imágenes y enviarlas a un procesador programado para analizar atributos, características e interpretación de variables y luego arrojar un resultado de interés (Zapata et al., 2016).

García (2008), afirma que la visión artificial por computador es una ciencia compleja que implica muchas ramas como: la física, modelos matemáticos,

electrónica, programación y ciencias de la vida, por lo tanto la visión es la capacidad de emular una escena, comprenderla, analizarla. Siguiendo las siguientes etapas: captura, extracción, pre-procesamiento, procesamiento, segmentación, caracterización, reconocimiento e interpretación.

## **2.6.1. Etapas de la visión artificial como herramienta de control de calidad**

### **2.6.1.1. Captura y extracción de imágenes**

La captura consiste en la obtención de imágenes mediante la utilización de dispositivos de visión óptica; por ello se utiliza la cámara fotográfica de alta calidad con la finalidad, que en la captura de las imágenes recoja toda la información relativa de una escena o material. La imagen digital es una matriz bidimensional conformada por píxeles, en la cual se almacena la intensidad de cada componente de una base de color (RGB). Los dispositivos más utilizados son los CCD (*charge-coupled device* o dispositivo de carga acoplada). Negrete y Llaguno (como se citó de Thuewissen, 2017) afirma que los dispositivos con carga acoplada CCD, son circuitos integrados formados por capacitadores acoplados, conectados a un sistema de control interno en un ordenador.

Es por ello, que para la adquisición de imágenes influyen dos factores: la calidad óptica del dispositivo y el tipo de iluminación; para la primera se debe utilizar una cámara calibrada en tamaño, resolución, formato y para el segundo factor se debe adecuar un diseño para evitar la transferencia de reflejos, efectos de la luz ambiental (Romero et al., 2015)

### **2.6.1.2. Pré-processamento y procesamiento**

El software para el procesamiento y análisis es el MATLAB, donde mediante filtros y transformaciones geométricas, se eliminan partes indeseables de la imagen o se realzan partes interesantes de la misma. Vélez et al., (2003) afirman que el filtro y realzado de la imagen es para mejorar o destacar algún elemento de las imágenes, para etapas posteriores, mediante operaciones básicas, como: operaciones aritméticas-lógicas (conjunción, disyunción, suma,

resta, multiplicación y división) y operaciones geométricas de traslación, escalado, rotación.

#### 2.6.1.3. Segmentación

Es el proceso más importante y complejo de la visión artificial, ya que es, donde se divide una imagen en partes, regiones y objetos de interés; con el cual se analiza y se reconoce variables, tales como: la textura, color, forma, longitud, tamaño, entre otras características (García, 2008). Así mismo Gómez y Domínguez (2015) afirman que la segmentación tiene varias características de análisis tales como: la textura, contorno, base de umbralización, detección de contorno, crecimiento de regiones, movimiento.

#### 2.6.1.4. Reconocimiento e interpretación de datos

Para el análisis en MATLAB, se deben analizar características como: textura, color, paso de la luz, forma (Sandoval, 2005). También se analiza el modelo RGB, donde afirma Negrete y Llaguno (2017) que el RGB es el formato de color aditivo de las imágenes, es decir, es la suma de los tres componentes, red (R), Green (G) y blue (B), considerando como base el color negro; la intensidad para cada componente está entre los 0 a 255 bits y determinar parámetros por intensidad.

### 2.7. **Uso de la visión artificial en la industria alimentaria**

El sistema de visión artificial en espectro visible por computadora, actualmente se utiliza en el campo agroalimentario con mucho potencial, ya que las industrias, universidades han estado investigando cómo aplicar y cómo mejorar este sistema en la clasificación cuantitativa y cualitativamente de diversos productos alimenticios, por: el tamaño, defectos, la morfología, el color, las propiedades de textura, entre otras; ya que esta tecnología no es destructiva, es rápida, precisa, objetiva, y evita la inspección humana que en jornadas largas tiende a ser costosa, subjetiva e imprecisa por el agotamiento laboral del personal (Romero et al., 2015).

Es por ello, que muchos científicos han investigado e implementado sistemas de visión artificial por computador para la industria alimentaria, tales como Romero et al., (2015) implemento un sistema para clasificar mangos de la variedad Tommy a través del método de RGB. Mientras que Montoya, Cortés, y Chaves (2014) implementaron un sistema automático para la clasificación de frutas: manzana, granadilla, kiwi, mango, naranja, guayaba, banano y maracuyá, en la cual se estudió el área, peso, perímetro, redondez y ejes de mayor y menor, utilizando la técnica de HSV y RGB.

La visión artificial no solo se utiliza en control de calidad de frutas sino también en alimentos elaborados, como determinó Moya (2011) en la elaboración de bastones de papas fritas, preparadas a dos temperaturas (140 y 180°C) y escalado del producto, que fue lo que más influyó para la clasificación automática de este producto.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Materiales**

##### **3.1.1. Materiales de laboratorio para elaboración de patrones**

Para el establecimiento y acondicionamiento de patrones de medida a diferentes porcentajes de humedad se utilizaron los siguientes materiales, métodos y equipos de laboratorio:

- Horno de temperatura constante / estufa automática *Memmer+*
- Placa metálica de 60 mm de diámetro por 25 mm de altura
- Desecador de muestras
- Balanza analítica de precisión marca Sartorius
- Utensilios de laboratorio.



### 3.1.2. Materiales para el diseño del prototipo de visión artificial

Para el diseño y desarrollo del dispositivo de visión artificial asistido por computadora, se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Base de acrílico y cuerpo del prototipo para la adquisición de fotos
- Cápsula de acrílico transparente para colocar la muestra de maíz.
- Cámara fotográfica en espectro visible, resolución 2160x2160 pixeles
- Lámpara de iluminación LED de 15 x150 mm
- Programa MATLAB® para reprocesamiento, procesamiento, segmentación y reconocimiento de variables que se relacionan con la humedad.
- Computador para ejecución del software MATLAB®.

Además, en el presente trabajo de investigación se comparó el dispositivo de visión con metodologías normalizadas y estandarizadas que se encuentran en el mercado INEN 6540:2013 e impedancia.

- Método Eléctrico de Impedancia – Equipo (*Steinlite Moisture Tester*)
- Dispositivo creado por el sistema de visión artificial.
- Determinación de humedad del maíz con la NTE INEN ISO 6540 (2013), como referencia nacional.

### 3.2. Metodología

El presente proyecto de innovación se realizó en diferentes áreas de estudio e investigación de la Universidad de las Américas Sede Queri del cantón Quito – Ecuador. En el laboratorio de la Dirección General de Investigaciones se elaboraron y acondicionaron los patrones de medida, en el laboratorio de la carrera de Ingeniería en Producción Industrial y en el Centro de Mecanización y

Prototipado, se realizó el diseño, elaboración, calibración y valoración de los prototipos desarrollados por visión artificial para medir la humedad.

### 3.2.1. Elaboración de patrones de medida

Para la elaboración y acondicionamiento de patrones de medida para determinar la calibración y funcionalidad del dispositivo de visión en espectro visible por computador, se adquirió muestras de maíz amarillo duro en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) una cantidad de 60 kg.

Luego se determinó el contenido inicial de humedad del maíz por el método de referencia: NTE INEN ISO 6540 (2013), el cual consiste en: pesar la placa metálica (60 x 25 mm) junto con la tapa ( $m_0$ ), esta debe estar seca, luego se homogenizó bien la muestra y peso 35 gramos de maíz con 3 repeticiones, con la finalidad de tener homogeneidad y confiabilidad en el resultado, posteriormente se pesó la placa con la muestra introducida en la misma ( $m_1$ ), luego se introduce la placa destapada en el horno de temperatura constante (estufa *memmer*) incubando a  $130^{\circ}\text{C}$  por  $38 \pm 2$  horas. Luego de haber transcurrido el tiempo mencionado, se saca la placa del horno tapando con rapidez, se introduce al desecador por un tiempo de 30 a 45 minutos o hasta que se enfríe y se pueda manipular para realizar el pesaje de la muestra ( $m_2$ ).

Para calcular la humedad de las muestras de los granos de maíz enteros, se realiza mediante la utilización de la siguiente ecuación:

$$H = (m_1 - m_2) \times \frac{100}{m_1 - m_0} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

H = Contenido de humedad en porcentajes de masa.

$m_0$  = masa de la cápsula vacía y tapa, en gramos.

$m_1$  = masa de la cápsula, la tapa con la muestra, sin secar, en gramos.

$m_2$  = masa de la cápsula, la tapa con la muestra seca, en gramos.

Esto permite medir la humedad inicial, con el fin de saber si los granos necesitan secarse o humedecer, para realizar el acondicionamiento de los patrones. Por lo cual, se realizaron 9 patrones, con los siguientes porcentajes de humedad: 10 (inicial), 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30, y 35 %. Luego se colocó una cantidad de 450 g en fundas de papel aluminio hasta llegar a los 3150 g por cada patrón / lotes humedad de maíz.

Para el acondicionamiento de las muestras a los diferentes porcentajes de humedad, se utilizó agua destilada con la ayuda de un rociador de boquilla fina; luego se selló la funda con el apoyo de una selladora eléctrica, posteriormente se colocó las muestras en el cuarto frío a una temperatura constante de 4.5°C de la Carrera de Agroindustrias, con el propósito de brindar una temperatura y humedad constante por un tiempo de dos semanas.

Para calcular la cantidad de agua a agregar por cada porcentaje a obtener, se utilizó la ecuación de GOUGH (1983):

$$Q = \frac{A(b-a)}{100-b} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

Q = Peso del agua que se va a añadir

A = Peso inicial de la submuestra

a = Contenido humedad inicial de la sub – muestra.

B = Contenido de humedad final de la sub – muestra.

Para garantizar una buena homogeneidad de las muestras, todos los días se realizó movimientos y mezcla de las fundas, para garantizar una buena homogeneidad y acondicionamiento de todos los patrones. Luego de acondicionar por este tiempo se comprobó la humedad con norma la NTE INEN ISO 6540 (2013).

Los patrones de medida acondicionados se almacenaron en bolsas de aluminio permeables con cierre tipo ziploc, cerrados al vacío y herméticamente en el cuarto frío a 5°C de temperatura, con el fin de garantizar buenas condiciones ambientales constantes y evitar cambios de humedad.

### 3.2.2. Diseño del prototipo de visión artificial por computador.

La invención de dispositivos para medir la humedad del maíz es de gran interés para este sector de la producción agrícola, por lo que, para el diseño del dispositivo se empleó el sistema de visión artificial en espectro visible, método innovador y único ya que hasta la fecha no existe equipos creados bajo este principio.

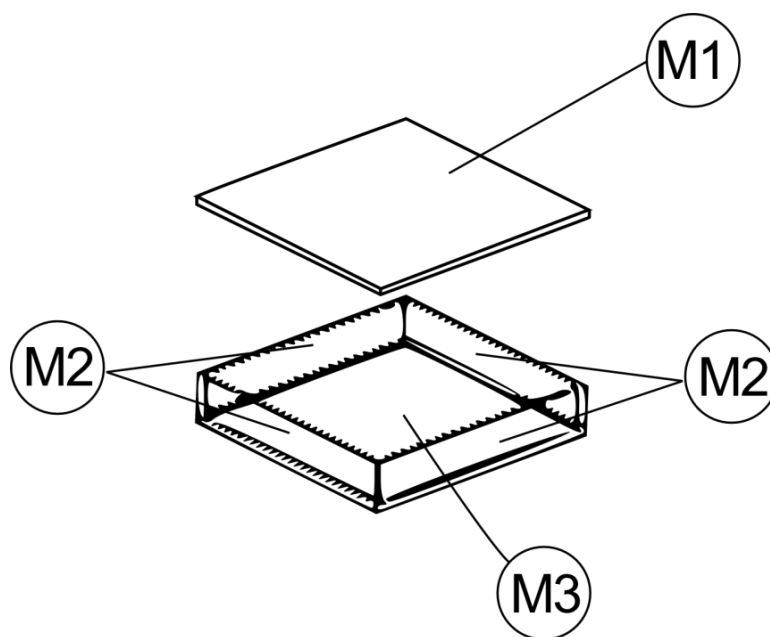
Para el diseño del equipo se utilizó cinco partes fundamentales: base iluminada, cápsula para productos, protector de luz externa, cámara fotográfica y computador.

1. La base iluminada corresponde a una lámpara de luz blanca directa convencional de tipo LED de 80 Watios y con lámpara cuadrada de 15 x 150 mm. Su estructura exterior metálica y la cobertura de lámpara de vidrio. En los contornos del vidrio se adhiere un perfil L (exterior 20 x 10 mm, espesor 3 mm) para albergar la cápsula que se detalla a continuación.



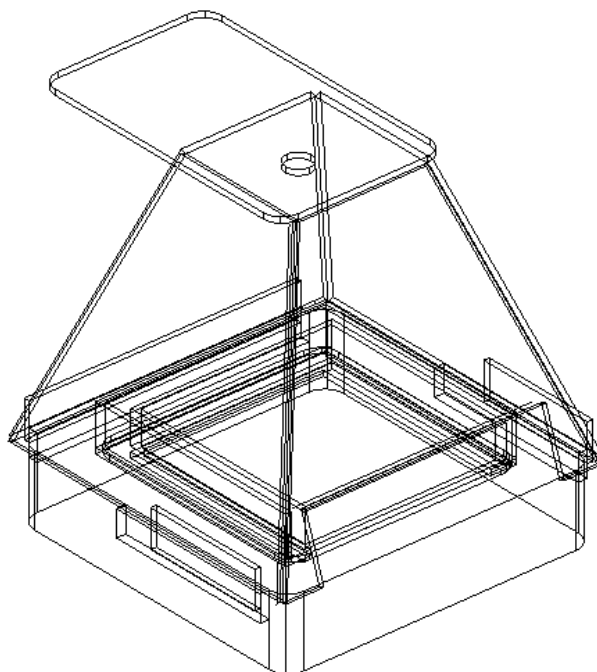
*Figura 4.* Lámpara LED de 80 watios 15 x150 mm, utilizada en el diseño del dispositivo de visión.

2. La cápsula de productos es una caja rectangular fabricada con acrílico de dimensiones exteriores de 170 x 175 x 25 mm, el espesor de la pared es de 3mm. La base de la caja es de un tono de color opal (M3), mientras que las paredes laterales son de color negro (M2) y la cubierta superior de color transparente (M1).

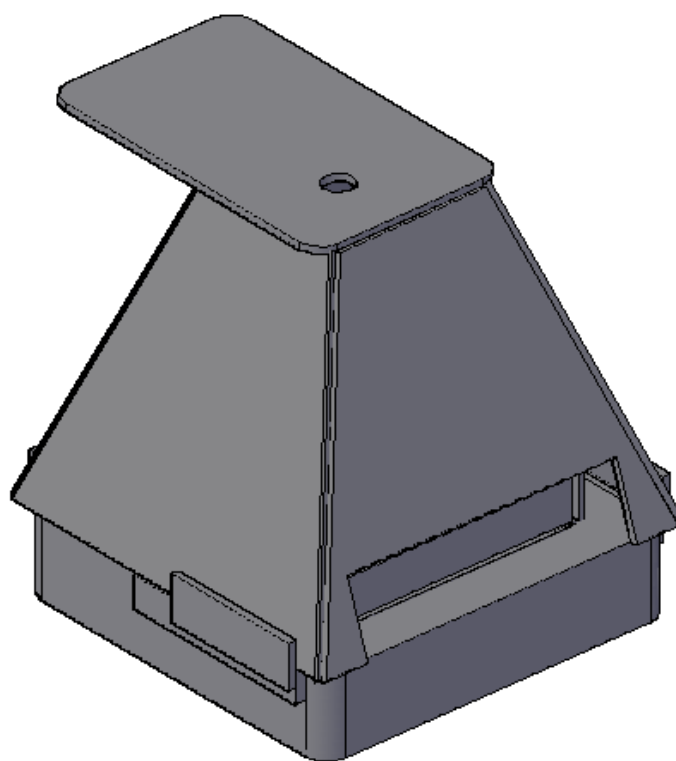


*Figura 5.* Partes y los materiales, utilizadas para la construcción de la cápsula.

3. El protector de luz externa es una pirámide truncada y hueca por dentro de medidas exteriores 220 x 220 mm en la base, 90 x 90 mm en la base superior y 175 mm de altura. Se construye tal pirámide con acrílico de 3 mm de espesor de color negro mate. Existe una abertura en la parte inferior de dimensiones 175 x 40 mm. Por dentro de la pirámide las uniones se recubrirán con un pegamento no traslucido adhesivo para garantizar la permeabilidad al paso de luz. En la parte superior de la pirámide truncada se adhiere una base plana rectangular de dimensiones 150 x 90 mm, la misma que servirá para colocar de forma segura una cámara fotográfica ya sea de mano de un teléfono celular.



*Figura 6.* Protector de luz externa en forma de pirámide del dispositivo de visión.



*Figura 7.* Protector de luz externa en forma de pirámide del dispositivo de visión.

4. La cámara fotográfica de visión óptica que se empleó fue de 2160x2160 pixeles de resolución, en formato de captura JPG.
5. El computador se empleó para la instalación de MATLAB R2015b como software de análisis de las imágenes.

### 3.2.3. Captura de imágenes en el dispositivo creado

Se diseñó un dispositivo que posee una disposición específica y dimensiones adecuadas, esto con la finalidad de garantizar la captura de las imágenes de utilidad libre de iluminación innecesaria y de resolución útil para los análisis.

Para la captura de imágenes se debe realizar el siguiente procedimiento, como se observa en la figura 8.

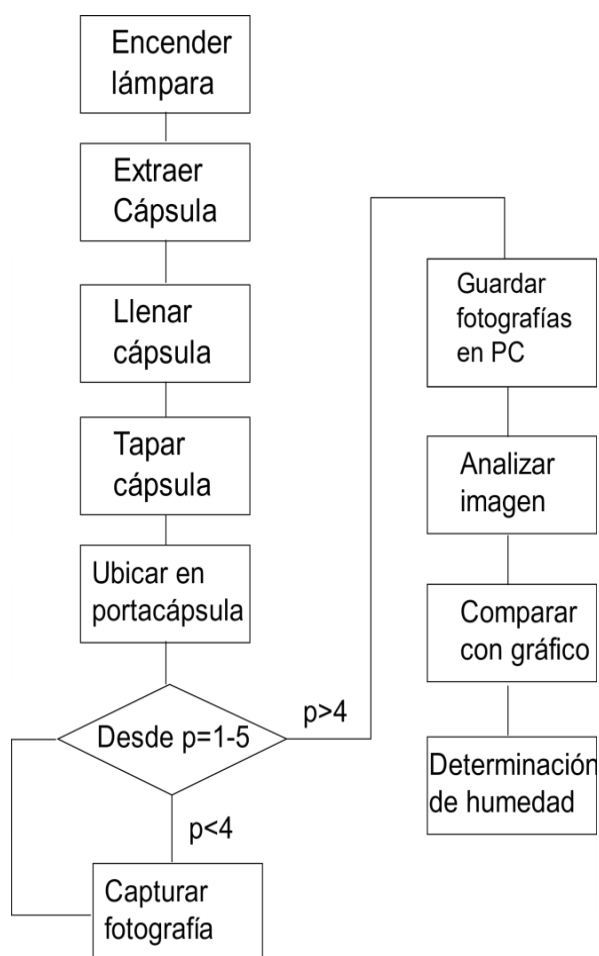


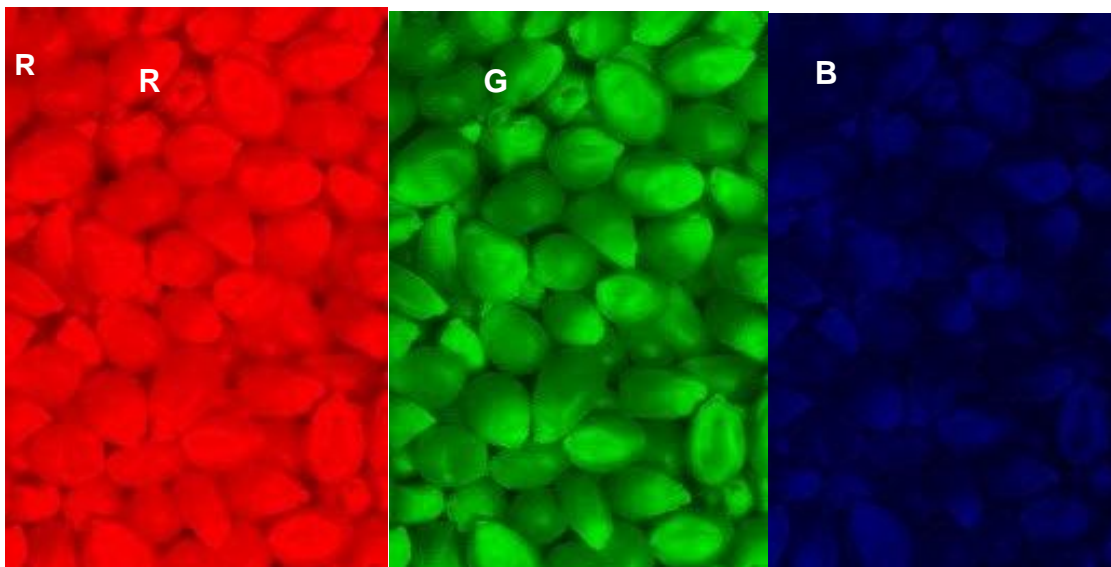
Figura 8. Diagrama de flujo del uso del dispositivo de visión.

En figura 8 se puede observar el flujograma, el mismo que indica el proceso que se realiza para la captura de las imágenes en el dispositivo de visión creado, el mismo que comienza desde el encendido del equipo hasta la comprobación de la humedad.

#### **3.2.4. Determinación de humedad mediante el análisis de imágenes en Matlab R2015b.**

Leer la imagen es uno de los primeros pasos, en este caso, dado que se emplea una cámara de un dispositivo celular, deberá descargarse estos archivos en un computador para ejecutar la lectura desde el software.

- a. Primero se descompone la imagen original en sus canales rojo, verde y azul correspondientes a su representación en RGB (Red, Green, Blue) las mismas que poseen valores que identifican la intensidad de cada uno de estos colores. Siendo los valores de 0 la carencia de ese color y 255 un color puro en esa tonalidad.



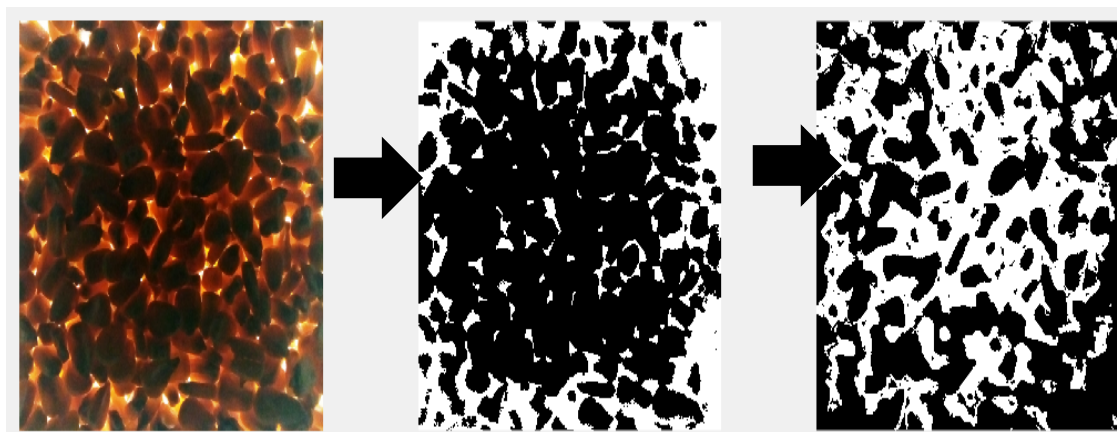
*Figura 9.* Descomposición de canales RGB a partir de una imagen de maíz amarillo duro.

De acuerdo con el producto, se analiza el o los colores que más se ven afectados por la variación de humedad y se identifica el color respectivo para



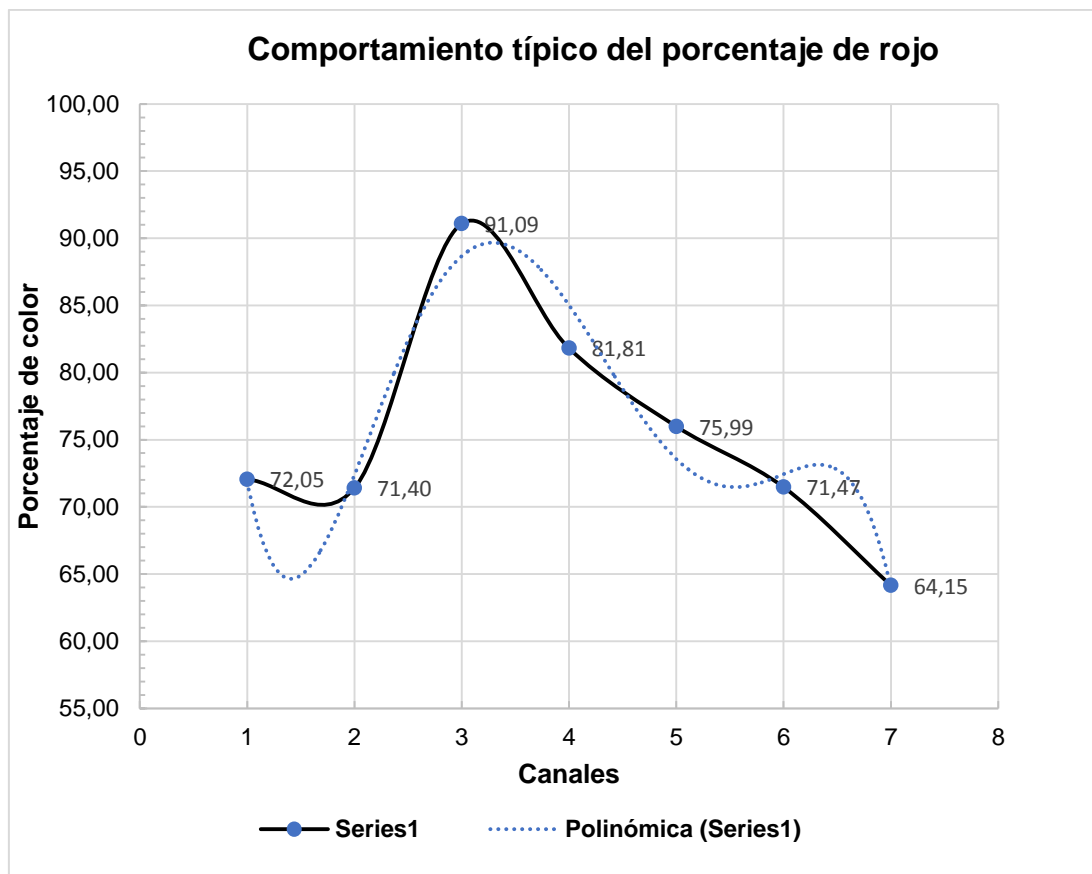
posteriormente eliminar el resto de los colores de la imagen, dejando el color predominante y más sensible a la humedad. Para el caso del maíz duro, su tonalidad roja es la más visible e influenciada por el grado de humedad.

- b. Se la convierte a imagen en escala de grises, luego se transforma a imagen blanco y negro, se determinan las zonas de color predominante y se toma en cuenta solo estas zonas, eliminando los colores blancos, negro o muy oscuros.



*Figura 10.* Imágenes analizadas en Matlab R2015b en contraluz, y zona de rojo dominante donde sobrepasa el límite especificado.

Con el color de interés, se procede a evaluar la intensidad y/o dispersión del color en el producto y muestra para compararlo con gráficos de linealidad, por lo tanto, se analizaron los valores de 5 fotografías, luego se compararon con las gráficas linealidad del producto respectivo y se determina la humedad de la muestra.



*Figura 11.* Comportamiento típico del porcentaje de rojo dominante en las imágenes del grano de maíz amarillo duro.

- c. Al aislar la zona de color predominante, permitió identificar el tono de color especialmente en su intensidad de rojo y asociarlo con la cantidad de humedad presente en los granos de maíz amarillo duro.
- d. Este sistema considera variaciones para distintos tipos de productos, en los cuales el color varía, por tanto, este dispositivo considera curvas para identificar la humedad por tipo de grano, especie o variedad que se analice.



*Figura 12.* Procedimiento para realizar el análisis y determinación de humedad, después de una imagen.

### **3.2.5. Ajuste de la medición de la humedad.**

Las curvas que describen el comportamiento de la humedad varían de acuerdo a la variedad del grano analizar y el rango de humedad que se analice, por lo tanto, si analizamos un rango de humedad superior al 10% e inferiores al 35%, la curva característica es descendente para los patrones de medida analizados, como se observa en la figura de linealidad del dispositivo.

### 3.2.6. Validación del dispositivo de visión

Según el Instituto de Salud Pública de Chile (2010), para la validación de una tecnología se debe tener en cuenta los siguientes parámetros: establecimiento de las condiciones por cumplir, determinación de los parámetros estadísticos del procedimiento y evaluación de los resultados por comparación de los parámetros estadísticos obtenidos con las condiciones establecidas y toma de decisión sobre la validez.

Mediante estadística descriptiva: media, desviación estándar, varianza, rangos mínimos y máximos, se determinó la variabilidad y homogeneidad de datos con referencia a cada patrón establecido y acondicionado, con el fin de determinar la validez del dispositivo creado.

Es por lo que, mediante la regresión lineal del gráfico resultante, determina la linealidad y el intercepto en el eje de las **Y**, mientras que, el coeficiente de correlación, indica el grado de relación entre la variable de humedad (independiente), versus la variable tamaño de la imagen (dependiente).

Luego se determinó la sensibilidad del prototipo con el fin de conocer si el dispositivo es capaz de notar mínimos cambios en su estado. La sensibilidad se la determina mediante una regresión lineal que corresponde a la pendiente (*m*) de la recta de calibración (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010). Se utilizará la siguiente ecuación.

$$m = \frac{\sum X_i Y_i - (\sum X_i \sum Y_i / n)}{\sum X_i^2 - ((\sum X_i)^2 / n)} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

En donde:

*m* = Sensibilidad

*x* = variable independiente (% humedad)

*y* = variable dependiente (píxeles/tamaño de la imagen)

n= número de repeticiones

Luego se midió la exactitud del prototipo mediante la determinación de la desviación estándar de los resultados de las 5 repeticiones del mismo analito, garantizando las mismas condiciones e intervalos a todos los patrones de medida.

### **3.2.7. Comparación de metodologías para medir la humedad**

El dispositivo de visión en espectro visible creado se comparó con metodologías estandarizadas y normadas: método gravimétrico de la estufa; validado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN-ISO 6540:2013 y el equipo eléctrico de impedancia de propiedad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Santa Catalina. La comparación se realizó con el fin de determinar el desempeño del dispositivo creado al medir la humedad del maíz amarillo duro, con respecto a los otros que se utilizan para esta actividad, como se observa en la tabla 2.

Para la comparación de las metodologías se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo factorial 3x9, donde se evaluó tres (3) metodologías (factores): gravimetría estufa – INEN 6540:2013, impedancia y dispositivo de visión artificial, por nueve (9) niveles de humedad conocida (patrones de medida), dando un total de veinte y siete (27) tratamientos, con cinco (5) repeticiones en cada tratamiento, con un total de 135 unidades experimentales de 30 g/UE. La variable para medir es el porcentaje de humedad de cada uno de los tratamientos, se buscará una interacción de 1° en los factores de estudio.

Tabla 2.

*Diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 9 con 5 repeticiones.*

Producto evaluado	Factores	Niveles	
Maíz amarillo	Metodologías (A)	Dispositivo de visión	a1
		INEN 6540:2013	a2
		Equipo impedancia	a3
	% de Humedad (B)	10%	b1
		12%	b2
		14%	b3
		15%	b4
		16%	b5
		20%	b6
		25%	b7
		30%	b8
		35%	b9

*Nota: Diseño estadístico para la comparación de metodologías.*

Tabla 3.

*Número tratamientos evaluados en la comparación de metodologías para determinar humedad del maíz amarillo.*

Tratamientos	Descripción del tratamiento	Repeticiones	
T1	a1b1	Maíz amarillo al 10%, medido por dispositivo de visión	5
T2	a2b1	Maíz amarillo al 10%, medido por INEN 6540:2013	5
T3	a3b1	Maíz amarillo al 10%, medido por equipo impedancia	5
T4	a1b2	Maíz amarillo al 12%, medido por dispositivo de visión	5
T5	a2b2	Maíz amarillo al 12%, medido por INEN 6540:2013	5
T6	a3b2	Maíz amarillo al 12%, medido por equipo impedancia	5
T7	a1b3	Maíz amarillo al 14%, medido por dispositivo de visión	5
T8	a2b3	Maíz amarillo al 14%, medido por INEN 6540:2013	5
T9	a3b3	Maíz amarillo al 14%, medido por equipo impedancia	5
T10	a1b4	Maíz amarillo al 15%, medido por dispositivo de visión	5
T11	a2b4	Maíz amarillo al 15%, medido por INEN 6540:2013	5
T12	a3b4	Maíz amarillo al 15%, medido por equipo impedancia	5
T13	a1b5	Maíz amarillo al 16%, medido por dispositivo de visión	5
T14	a2b5	Maíz amarillo al 16%, medido por INEN 6540:2013	5
T15	a3b5	Maíz amarillo al 16%, medido por equipo impedancia	5
T16	a1b6	Maíz amarillo al 20%, medido por dispositivo de visión	5
T17	a2b6	Maíz amarillo al 20%, medido por INEN 6540:2013	5
T18	a3b6	Maíz amarillo al 20%, medido por equipo impedancia	5
T19	a1b7	Maíz amarillo al 25%, medido por dispositivo de visión	5
T20	a2b7	Maíz amarillo al 25%, medido por INEN 6540:2013	5
T21	a3b7	Maíz amarillo al 25%, medido por equipo impedancia	5
T22	a1b8	Maíz amarillo al 30%, medido por dispositivo de visión	5
T23	a2b8	Maíz amarillo al 30%, medido por INEN 6540:2013	5

T24	a3b8	Maíz amarillo al 30%, medido por equipo impedancia	5
T25	a1b9	Maíz amarillo al 35%, medido por dispositivo de visión	5
T26	a2b9	Maíz amarillo al 35%, medido por INEN 6540:2013	5
T27	a3b9	Maíz amarillo al 35%, medido por equipo impedancia	5

*Nota: Número total de tratamientos utilizados para la comparación de metodologías*

En la tabla 3 se observa el diseño estadístico utilizado para evaluar la comparación de las metodologías de la presente investigación y en la tabla 3 se puede observar el número total de tratamientos determinados para la evaluación de la humedad.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Diseño del dispositivo de visión en espectro visible

El dispositivo diseñado para la determinación de la humedad del maíz amarillo está compuesto de cinco componentes: base iluminada, cápsula para submuestras a analizar, protector de luz externa, cámara fotográfica y computador con software para análisis.

#### 4.1.1. Base iluminada

Es una lámpara de luz blanca de tipo LED, cuya luz atravesará los productos sólidos depositados en la cápsula, así mismo sirve como base para la guía de la porta cápsula. Esta lámpara debe propiciar luz blanca y homogénea hacia arriba, para iluminar la cápsula que contiene la muestra de maíz desde su parte inferior.

En la visión artificial para el control de calidad de productos automatizado, se utiliza la iluminación directa a la muestra, a través de lámparas colocadas a una fuente de energía controlada (Escobar y Roa, 2016). Así mismo lo confirma Moya (2011) que la luz debe estar ubicada a 22.4 cm de la muestra, con un ángulo de 45° desde el centro de la cámara con relación a la fuente de iluminación, con dirección directa a la muestra a fotografiar y analizar.

En el dispositivo creado la lámpara posee fijo en sus bordes guías que permiten ubicar la protección de la luz exterior en forma de pirámide, sin que

esta se mueva sobre la lámpara, como se observa en la figura 13, este componente se denomina C2. A más de ello, sobre el vidrio por donde sale la luz de la lámpara, se fija el componente C3 o porta cápsula. Ambos componentes se fijaron mediante cinta adhesiva de doble faz o adhesivos líquidos instantáneos (brujita).

El material de las guías y el porta cápsula es de acrílico transparente de 3 mm de espesor, con el componente C3 que es un perfil en L de tal forma que alberge en su interior a la cápsula.

#### 4.1.2. Cápsula para colocar las muestras a analizar

La cápsula (C4) fue fabricada con acrílico de 3 mm de espesor, posee 3 colores de acrílicos nombrados M1, M2 y M3 que respectivamente son: transparente, negro y opal. El acrílico transparente permite observar desde la parte superior la muestra del producto para su posterior fotografiado. Las paredes laterales fabricadas de acrílico negro (M2) cumplen la función de eliminar los brillos de luz en los bordes de la cápsula, los mismos que dificultarían el análisis si no fueran de ese color.

La base construida con opal (M3), cumple la función de dispersar y homogenizar la luz proveniente de la lámpara y la distribuye de forma más regular sobre los granos mejorando así dispersión a través del producto que se analiza.

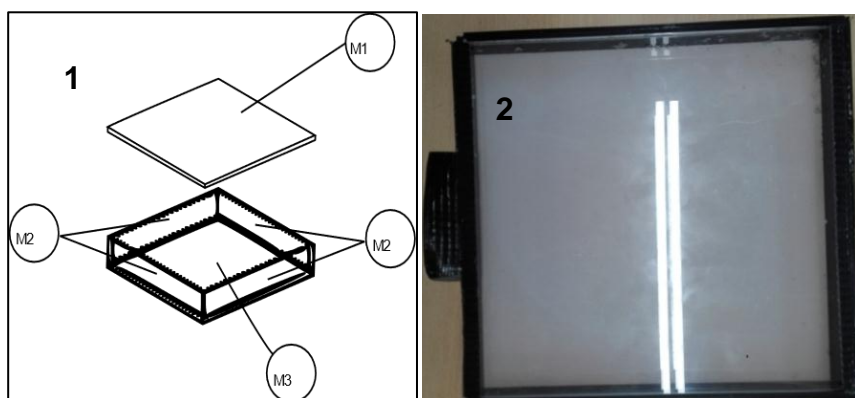


Figura 13. La imagen 1 represente las partes de la cápsula, la 2 corresponde al diseño final de la cápsula porta muestras.



Se utiliza la cápsula con la finalidad de conservar la muestra frente a los cambios de humedad, teniendo en cuenta que el maíz es higroscópico, es decir, que puede adsorber humedad del ambiente. Mientras que, en el control de calidad de productos de manera visual, no se realiza esto, sino más bien, se utiliza una superficie no traslucida, seca y limpia.

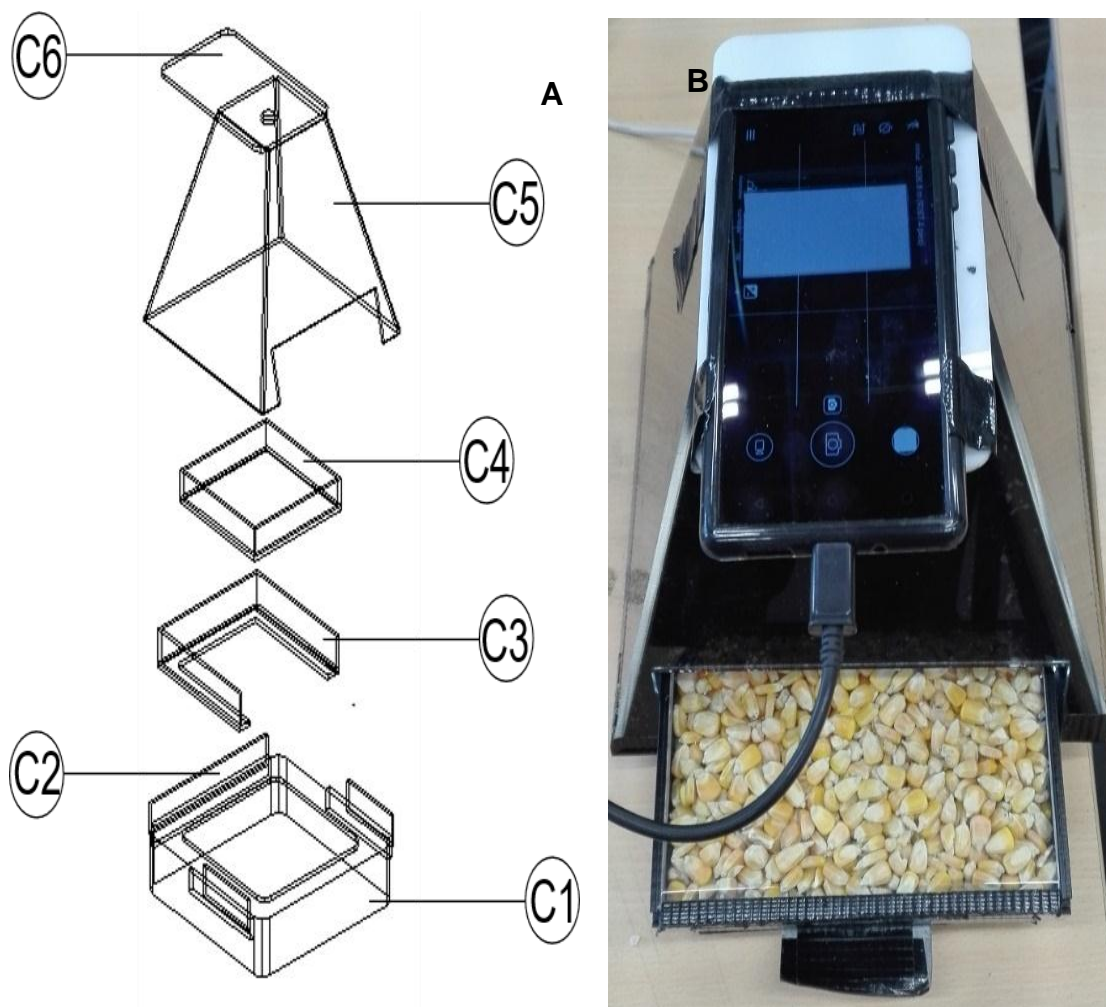
#### **4.1.3. Protector de luz externa**

El protector de luz exterior C5, fue fabricado con acrílico de 3 mm de espesor, de tal manera que no exceda las dimensiones de las guías C2 fijas en la C1. Esta pirámide hueca se fabricó con acrílico negro, las aristas se unen con pegamento líquido (brujita) y por el interior se recubrió con cinta adhesiva negra para evitar el ingreso de luz externa.

En un lado de la pared de la pirámide se tiene una abertura que permite el ingreso de la cápsula a su interior. Es recomendable colocar exteriormente un papel adhesivo para que impermeabilice el ingreso de luz. Mientras que Romero et al., (2015), afirman que en el control de calidad, solo se adecua un espacio por el cual va pasar la muestra en un sistema continuo, donde se evite los reflejos y cambios en la iluminación por el ambiente.

#### **4.1.4. Cámara fotográfica**

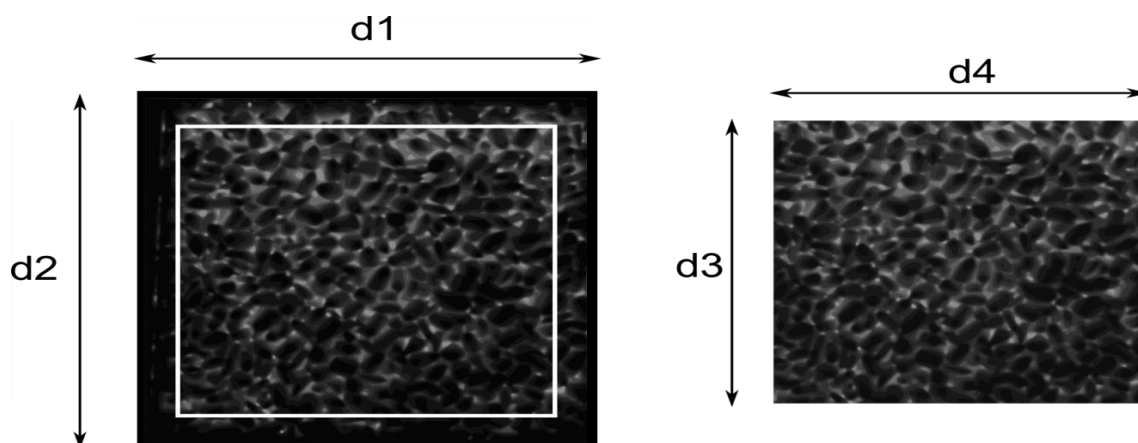
En la base C6 se ha diseñado para colocar un celular smartphone con cámara de visión óptica de 2160x2160 pixeles de resolución para la captura de imágenes. También se puede colocar una cámara fotográfica cuyo lente sea menor a 15 mm de diámetro; la cámara deberá tomar 5 fotografías para poder evaluar posteriormente la humedad del producto. Mientras que Escobar y Roa, (2016) utilizaron una cámara de 5 mega pixeles con la finalidad de observar los grados de maduración de la granadilla por el método RGB.



*Figura 14.* Imagen A, partes del protector de luz del dispositivo, en la imagen B se observa el equipo en funcionamiento para la captura de imágenes.

#### **4.1.5. Computador con software para análisis.**

Se utilizó un computador portátil tipo laptop Dell, en la cual, se instaló el software MATLAB R2015b para el análisis de las imágenes capturadas en el dispositivo de visión creado. En la figura 14 se observa imágenes analizadas en el programa, donde se determinó el tamaño de la imagen con dimensiones  $d1$  y  $d2$  en píxeles de acuerdo con la resolución del dispositivo óptico utilizado. El recuadro de línea blanca delimita la zona que se analiza (dimensiones  $d3$  y  $d4$ ) a fin de eliminar defectos en los bordes de la cápsula y así mejorar la medición.



*Figura 15.* Dimensiones y preparación de una imagen de maíz amarillo para el análisis en MATLAB R2015b.

Como se pudo observar en la creación, diseño y validación del dispositivo se utilizaron materiales, equipos y softwares accesibles, que son de bajo costo para su adquisición, por lo tanto, el equipo creado mediante el sistema de visión artificial en espectro visible tiene las siguientes características: de fácil manejo, de material resistente, duradero, portable y accesible para pequeños, medianos productores, comercializadores, almacenistas e industrializadores del maíz.

## **4.2. Preparación de patrones de medida**

### **4.2.1. Determinación del contenido de humedad inicial**

Para iniciar el acondicionamiento de los patrones de medida con una humedad conocida, se determinó la humedad inicial del maíz amarillo mediante la utilización de la siguiente ecuación establecida en la norma NTE INEN ISO 6540 (2013). Esto con el fin de conocer el estado actual de los granos para establecimientos de los analitos a acondicionar.

Según la NTE INEN ISO 6540 (2013), el método gravimétrico consiste en: pesar la placa metálica (60 x 25 mm) junto con la tapa ( $m_0$ ), esta debe estar seca, luego se homogenizó la muestra y se pesó 35 gramos de maíz con 3 repeticiones. Posteriormente se pesó la placa con la muestra introducida ( $m_1$ ),

luego se puso la placa destapada en la estufa *Memmer* a una temperatura constante de 130°C por 38±2 horas.

Luego de haber pasado el tiempo mencionado, se sacó la placa del horno tapando con rapidez y se introdujo al desecador por un tiempo de 30 minutos hasta que se enfrió y se pueda manipular para realizar el pesaje final de la muestra en la balanza de precisión (m2).

El presente es un ejemplo de determinación de humedad de maíz amarillo, mediante la fórmula.

$$H = (m1 - m2) \times \frac{100}{m1 - m0}$$

$$H = (120.1900 - 116.9544) \times \frac{100}{120.1900 - 89.6496}$$

$$H = 10.594\%$$

Tabla 4.

*Resultados de comprobación de humedad inicial, mediante la norma NTE INEN-ISO 6540:2013.*

Factor	R	Contenido de humedad					H	X Media/l
		mo	P. Muestra	m1	m1-m2	m2		
<b>Maíz amarillo duro</b>	1	89.6	30.54	120.19	3.23	116.95	10.59	10.60
	2	89.4	30.19	119.67	3.19	116.48	10.58	
	3	90.4	30.46	120.84	3.23	117.60	10.62	

Nota: Metodología utilizada para la determinación de la humedad del maíz amarillo duro en base a la NTE INEN 6540:2013.

De las 3 repeticiones se sacó una media con un valor de 10.601%, con ello se realizó el acondicionamiento de los patrones de medida a diferentes porcentajes de humedad del 10,12, 14, 15, 16, 20, 25, 30, 35.

#### **4.2.2. Acondicionamiento de los patrones de medida.**

Luego de haber obtenido la humedad inicial (tabla 4), se procedió a calcular la cantidad de agua a agregar a cada patrón de medida, partiendo desde el 10%

(inicial), luego el 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30, y 35 %. Para ello, se utilizó la ecuación de GOUGH (1983), para el cálculo de la cantidad de agua añadir a cada patrón de medida.

El siguiente es un ejemplo de determinación de la cantidad de agua añadir al patrón de medida del 14% de humedad.

$$Q = \frac{A(b - a)}{100 - b}$$

$$Q = \frac{260.69(14.00 - 10.601)}{100 - 14.00}$$

$$Q = 10.30 \text{ ml}$$

Tabla 5.

*Resultados de la determinación de la cantidad de agua a añadir para el patrón de medida del 14%, mediante la ecuación de GOUGH (1983).*

Repetición	Humedad inicial	Cantidad de agua añadir				Agua añadida real	Humedad deseada (%)
		A	a	b	Q		
1		260.69	10.60	14.00	10.30	10.80	14
2	10.601	260.18	10.60	14.00	10.28	10.78	14
3		253.37	10.60	14.00	10.01	10.51	14

*Nota: Metodología utilizada para calcular la cantidad de agua añadir para cada patrón de medida a acondicionar en maíz amarillo.*

En la tabla 5 se observa la determinación de la cantidad de agua añadir para el patrón de medida del 14% de humedad con 3 repeticiones. Con la misma fórmula de GOUGH (1983) se calculó la cantidad de agua añadir para cada uno de los patrones a acondicionar: 10 (inicial), 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30, y 35%, respectivamente.

De la cantidad de agua calculada (Q) se añadió un 5% más, denominada como agua añadida real, esto con fin de garantizar el agua necesaria a agregar y evitar pérdidas que se quedan en el rociador utilizado.

### 4.2.3. Ensayo de homogeneidad de los patrones de medida.

Para saber la homogeneidad de los patrones de medida (10, 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30, 35) se determinó la humedad mediante el uso del método gravimétrico, NTE INEN ISO 6540 (2013), con 5 repeticiones cada patrón acondicionado, luego se calculó la desviación estándar, con la finalidad de observar el grado de variación entre el valor observado frente a la media calculada en cada analito.

Tabla 6.

*Desviación estándar de cada patrón de medida acondicionado de maíz amarillo duro.*

	Desviación estándar de cada patrón								
Patrones de medida	10%	12%	14%	15%	16%	20%	25%	30%	35%
Desviación estándar.	0.16	0.11	0.11	0.28	0.13	0.21	0.24	0.47	0.22

*Nota: Desviaciones de cada repetición de los patrones de medida acondicionados, utilizados para la calibración del dispositivo de visión en espectro visible.*

En la tabla 6 se puede observar la desviación estándar de cada patrón de medida acondicionado, lo cual representa el grado de homogeneidad dentro de cada patrón establecido, utilizado para realizar la calibración del dispositivo de visión en espectro visible. Utilizando el método de gravimétrico INEN estufa, Villamarin (2018) en su ensayo de homogeneidad sobre el contenido de humedad del maíz amarillo duro, determinó desviaciones de  $\pm 0.12$  a  $\pm 0.21$  puntos, en la comparación de humedades desde el 10 al 16%, en cual podemos observar que los resultados obtenidos en la presente investigación son confiables para la calibración del dispositivo.

Así mismo, Tamayo y Terán (2018), determinaron desviaciones de 0.0867 a 0.4334 puntos porcentuales en la medición del contenido de humedad del maíz suave y morocho, utilizando la metodología INEN, esto nos quiere decir que la metodología con el principio de gravimetría es ideal para la determinación de humedad en granos almacenados, comercializados, para realizar negocios de compraventa de la gramínea. La única dificultad es que una metodología

destruictiva, necesita por lo menos de 40 horas, necesita de un balotario básico y se debe contar con personal calificado para realizar estos análisis.

Tabla 7.

*Análisis de varianza de la homogeneidad de cada patrón de medida acondicionado.*

<b>Lotes</b>	<b>Patrón medida acondicionado</b>	<b>Homogeneidad</b>	<b>F. Calculada</b>	<b>F. Crítico</b>
10%	10.302 ± 0.16	Lote – sub-lote	3E-05	4.9646
12%	12.485 ± 0.11	Lote – sub-lote	0,0069	4.9646
14%	14.551 ± 0.11	Lote – sub-lote	0,2803	4.9646
15%	15.032 ± 0.28	Lote – sub-lote	0,1303	4.9646
16%	16.485 ± 0.13	Lote - sub-lote	2,4971	4.9646
20%	19.882 ± 0.21	Lote - sub-lote	2.4366	4.9646
25%	25.357 ± 0.24	Lote - sub-lote	0,2116	4.9646
30%	29.306 ± 0.47	Lote - sub-lote	2,2010	4.9646
35%	34.123 ± 0.22	Lote - sub-lote	0,6876	4.9646

*Nota: Cuando el valor de la F calculada es menor que la F crítica se interpreta que el patrón de medida es homogéneo.*

En la tabla 7, se presenta el análisis de la varianza del ensayo de homogeneidad de los patrones de medida acondicionados, utilizados para la calibración y desempeño del dispositivo de visión. Donde se puede observar que los valores de la F. calculada son menores que la F. crítica, esto nos quiere decir, que todos los analitos son homogéneos, por lo tanto, se los puede utilizar sin problemas para los ensayos de calibración del equipo creado.

Es por ello, para evitar cambios de humedad en los patrones de medida acondicionados (homogéneos), se los enfundo en fundas de aluminio cerrados herméticamente al vacío, luego se los guardo en un cuarto frío a temperatura controlada y constante. Esto con la finalidad de evitar que los granos absorban o liberen humedad al ambiente, ya que el maíz es higroscópico.

### 4.3. Determinación de la humedad en el dispositivo de visión

Para realizar la determinación de la humedad del maíz amarillo, se capturo imágenes en el dispositivo de visión creado, luego se analizaron en el software Matlab R2015b, mediante la utilización de códigos programados para la variedad maíz amarillo a analizar.

Este proceso se realizó por varias repeticiones, reproceso, reajustes y modificaciones de las versiones de los prototipos creados, hasta obtener resultados confiables y viables a la presente investigación, cumpliendo los objetivos planteados.

Por lo tanto, en la tabla 8 se presenta los resultados obtenidos de la determinación de la humedad a cada patrón acondicionado.

Tabla 8.

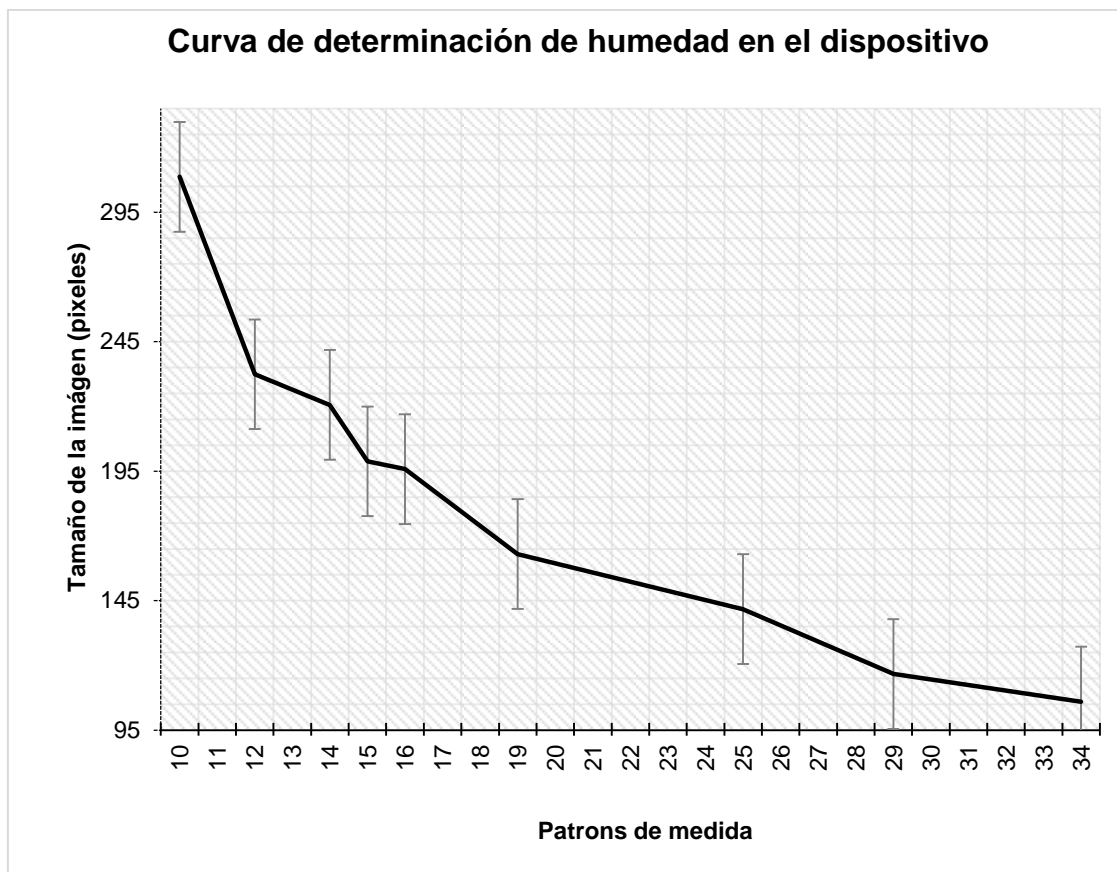
*Determinación de humedad del maíz amarillo en el dispositivo de visión.*

<b>Patrón de medida acondicionado (%)</b>	<b>Promedio del tamaño imagen en pixeles</b>	<b>Promedio de determinación de humedad (%)</b>
10.302	312.9343	10.1399
12.485	231.0638	11.9300
14.551	214.1726	13.5912
15.032	196.4845	14.8246
16.485	188.9763	15.4439
19.992	165.3259	20.2882
25.357	144.7939	25.5419
29.306	120.5866	31.5344
34.123	105.0923	34.6834

*Nota: Los promedios de cada apartado está determinado en base a 5 repeticiones.*

En la determinación de la humedad, utilizando el dispositivo de visión en espectro visible creado, se comprobó que no existen diferencias significativas entre cada patrón de medida acondicionado, con el método de referencia NTE INEN ISO 6540 (2013). Por lo tanto, el equipo puede reconocer y determinar la humedad de acuerdo con las condiciones del grano a la cual se encuentren.





*Figura 16.* Curva de humedad, determinada con el dispositivo de visión en espectro visible.

En la figura 16 se observa la curva negativa, característica de la determinación de humedad, calculada con el dispositivo de visión creado, en cual se puede observar una línea de tendencia negativa, es decir que, mientras menor sea la humedad conocida, mayor será el tamaño de la imagen, donde el color rojo (predominante) es el más visible, el cual se relaciona con el grado de humedad en la variedad de maíz amarillo duro.

Además, se puede observar que desde la humedad del 10% al 20% la pendiente es más pronunciada, esto se debe que el equipo puede diferenciar e identificar la humedad con más precisión.

Tabla 9.

*Estadísticos utilizados para la determinación de humedad del maíz amarillo con el dispositivo de visión.*

Padrón acondicionado o INEN 6540	Determinado con dispositivo de visión						
	Medi a	Desviació n	Error Desviació n	Límite inferio r	Límite superio r	Mínim o	Máxim o
10.302	10.14	1.24	0.55	8.60	11.67	9.10	11.59
12.485	11.93	0.81	0.36	10.93	12.93	11.02	13.23
14.551	13.59	0.72	0.32	12.70	14.49	12.75	14.64
15.032	14.82	0.73	0.33	13.92	15.73	13.66	15.44
16.485	15.44	0.57	0.26	14.74	16.15	14.83	16.03
19.992	20.29	2.50	1.12	17.19	23.39	17.28	22.82
25.357	29.16	3.59	1.60	24.71	33.62	24.85	32.80
29.306	31.53	3.95	1.77	26.63	36.44	26.67	37.03
34.123	34.68	1.89	0.85	32.33	37.04	32.60	36.22

*Nota. Estadísticos calculados con el 95% del intervalo de confianza para la media para la determinación de humedad.*

En la Tabla 9 se observa los estadísticos utilizados para la determinación de la humedad del maíz amarillo en el dispositivo de visión, en la cual, se puede observar que el equipo visión mide desde el 10.14 al 15.44% con una desviación de  $\pm 1.24$  a  $\pm 0.57$  puntos de precisión, esto se debe a que se trabajó con rangos de humedad más bajos del 1 y 2 puntos porcentuales, donde el prototipo detecta el color predominante (rojo) con mayor facilidad.

Así mismo se determinó que, desde la humedad del 20.29 al 34.68% el rango de desviación es más amplia, de  $\pm 1.89$  a  $\pm 3.95$  esto se debe a que se acondicionó patrones cada 5 puntos porcentuales, como se puede observar en la tabla 9. Como resultado de la medición se concretó que el dispositivo detecta al color predominante (rojo) más bajo (relacionado con la humedad), como se observa en la tabla 8 y figura 15 del tamaño de los pixeles de cada patrón de medida, las imágenes analizadas generan una curva de tendencia negativa en la determinación de la humedad.

### 4.3.1. Prueba de homogeneidad del dispositivo de visión

Tabla 10.

*Análisis de varianza de la homogeneidad del dispositivo de visión en la determinación de humedad en maíz amarillo.*

Evaluación		Estadístico de Levene	GL1	GL2	Sig.
Humedad	Análisis de medidas	3,664	8	45	0,002
	Análisis de medidas	3,088	8	45	0,007
	Análisis de medias y con GL ajustado	3,088	8	25,94	0,014
	Se basa en la media recortada	3,585	8	45	0,003

*Nota. Estadístico de Levene con un 95% del intervalo de confianza para la media.*

De acuerdo con el análisis de varianza de la homogeneidad de la determinación de la humedad del maíz amarillo de los padrones de medida, se determinó el estadístico de Levene, el cual indica que no existe homogeneidad al medir la humedad entre 10 al 35% con un estadístico de 3.664 mayor que el valor de significancia de 0.002.

Esto nos quiere decir que, el dispositivo tiene la capacidad de diferenciar los rangos de humedad acondicionados, dando origen a la medición heterogénea, es decir, por rangos, donde el equipo si puede medir y diferenciar la humedad conocida que tiene cada patrón de medida.

## 4.4. Validación del dispositivo de visión.

### 4.4.1. Ensayo de linealidad y sensibilidad

Para determinar la lineabilidad del dispositivo se capturo 10 imágenes de cada patrón de medida acondicionado: 10, 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30 y 35% de humedad conocida, los resultados se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 11.

*Resultados del análisis de imágenes realizadas en Matlab de patrones de medida de maíz amarillo*

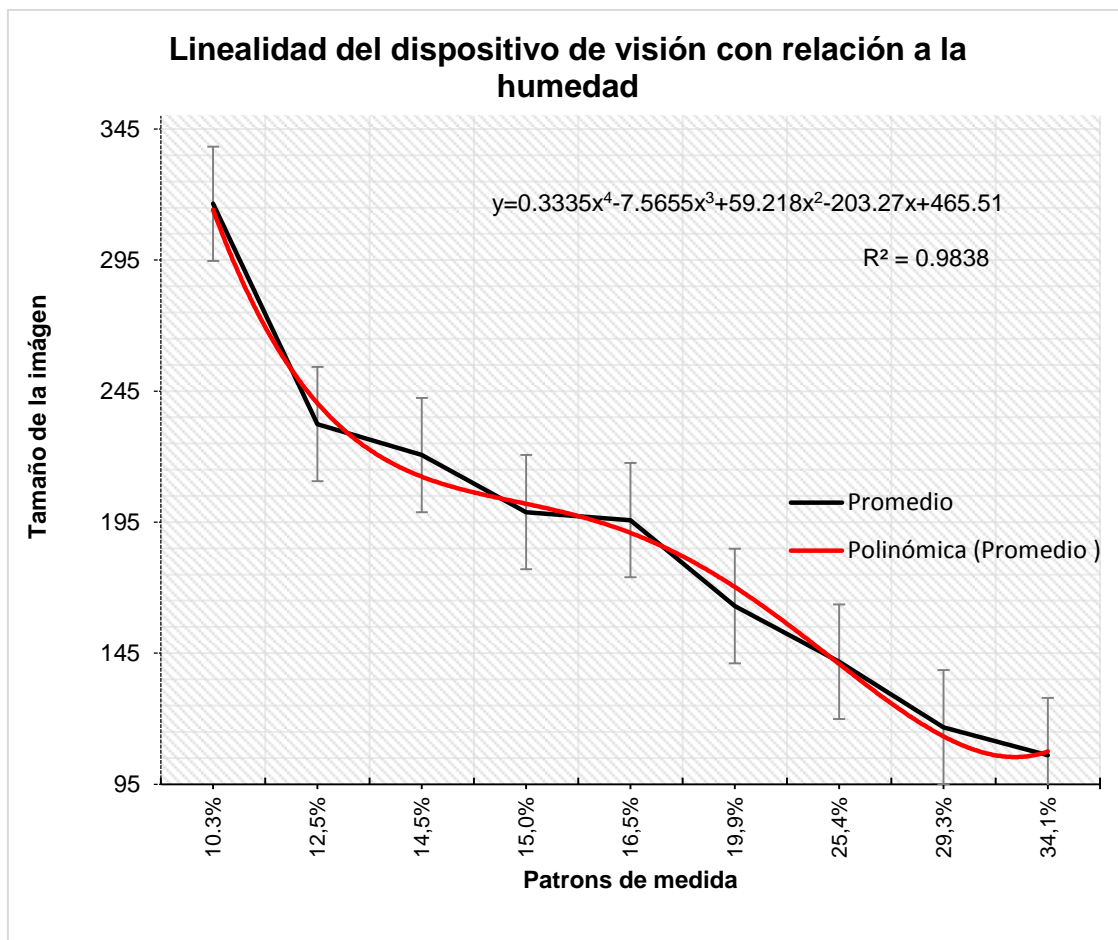
Repetición	Patrones de medida acondicionados para calibración								
	10.3%	12.5	14.5%	15.0%	16.5%	19.9%	25.4%	29.3%	34.1%
1	280,91	230,15	200,87	199,07	196,13	185,95	142,57	101,99	98,8
2	286,92	226,01	219,00	193,56	181,65	146,35	146,35	110,85	109,2
3	357,75	229,35	212,63	204,12	191,32	174,49	138,57	141,59	109,8
4	287,73	256,28	207,70	181,08	181,47	140,85	140,85	122,54	108,9
5	351,36	213,53	230,66	204,60	194,31	178,98	155,63	125,97	98,9
6	315,76	279,05	218,80	188,88	204,13	153,48	153,48	112,38	108,5
7	401,42	227,94	234,07	207,59	201,08	163,89	132,56	110,99	106,8
8	324,75	214,86	227,78	192,00	209,21	172,26	135,96	112,30	105,3
9	286,33	216,23	223,79	211,68	187,99	167,28	130,62	112,69	109,9
10	272,09	230,80	230,84	205,53	210,51	146,23	140,63	115,90	104,6
<b>Media</b>	316,50	232,42	220,61	198,81	195,78	162,98	141,72	116,72	106,05

*Nota. Determinación del color predominante que se relaciona con la humedad del maíz amarillo.*

La tabla 11 corresponde al comportamiento del color (rojo predominante), relacionada con humedad, por lo tanto, para determinar la lineabilidad y sensibilidad se capturo 10 imágenes en el dispositivo de visión de cada uno de los patrones de medida con humedad conocida, luego se analizaron en el software con la codificación generada para esta variedad de maíz amarillo (ver anexo 10).

En la figura 17 se puede observar una curva con linealidad polinómica grado 6, con los rangos de la medida de cada padrón, con una tendencia a disminuir (negativa) desde el 10.3 al 34.1%. Es decir que, el color predominante se observa mejor en las humedades más bajas, con relación a las humedades altas, mayores al 20%.

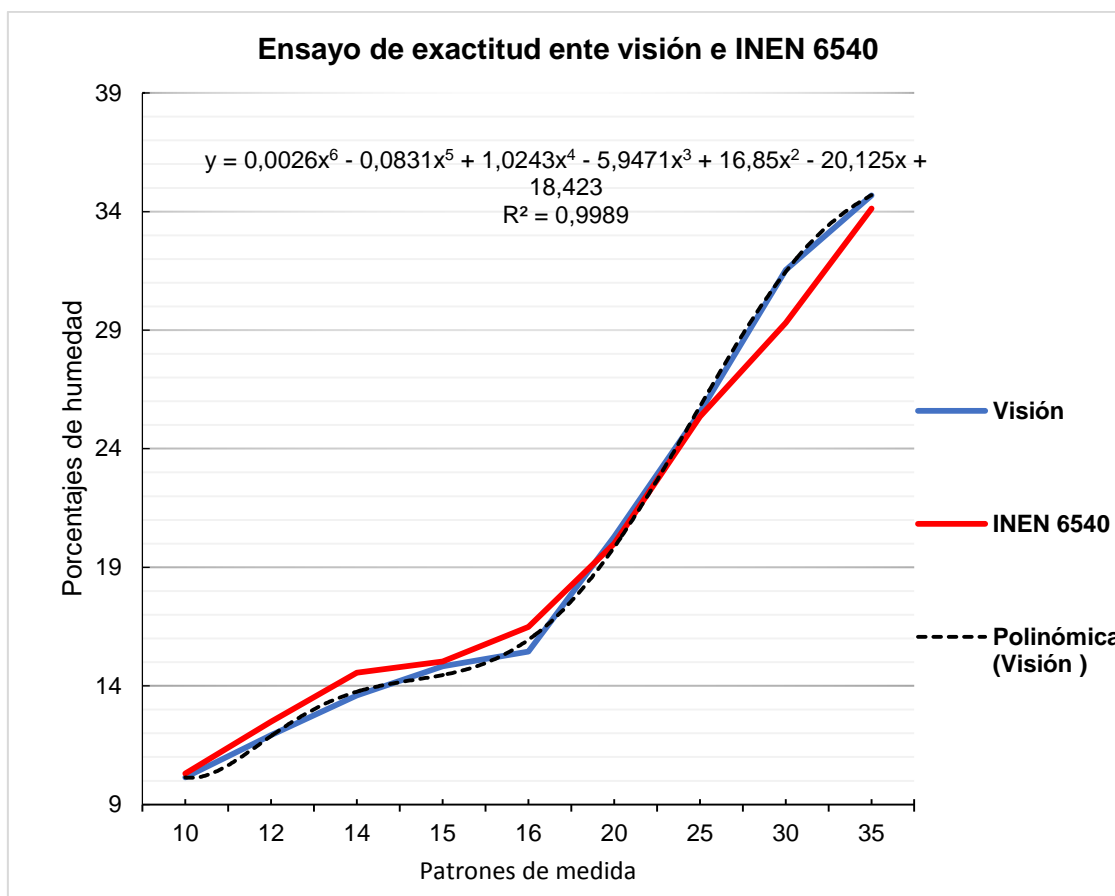
Así mismo se observa que el dispositivo de visión tiene un coeficiente de correlación de 0.9838, es decir, el equipo es confiable al determinar la humedad del maíz amarillo.



*Figura 17.* Linealidad y sensibilidad del dispositivo de visión con relación a la humedad del maíz amarillo.

#### 4.4.2. Ensayo de exactitud

Para determinar que la medición de la humedad realizada con el dispositivo de visión es la correcta o errónea, se comparó con la metodología de referencia nacional NTE INEN ISO 6540 (2013).



*Figura 18.* Ensayo de exactitud del dispositivo de visión frente a la metodología INEN 6540:2013, del maíz amarillo.

En la figura 18 se puede observar el ensayo de exactitud, donde se puede observar que el equipo de visión presenta una curva polinómica de grado 6 con tendencia negativa al medir la humedad, dando como resultado y conclusión, que el equipo de visión es estadísticamente igual que la metodología NTE INEN ISO 6540 (2013), al determinar la humedad del 10.30 al 19.9%.

Mientras que desde del 19.9 al 34.1% se puede observar un pequeño desfase en la medición, es decir, por encima de la humedad conocida y determinada con la metodología de referencia NTE INEN ISO 6540 (2013), esto se debe al grado de humedad del grano en la que se encuentra y al rango de medida (5 puntos porcentuales) de los patrones acondicionados.

#### 4.5. Comparación de metodologías y desempeño del dispositivo

Para determinar la efectividad y desempeño del dispositivo creado, se comparó con otros métodos normados y estandarizados, los mismos que son utilizados en la determinación de humedad de los granos. Los métodos utilizados fueron: NTE INEN ISO 6540 (2013), método impedancia del INIAP- Estación Santa Catalina y el dispositivo creado de visión en espectro visible. Con cada una de las metodologías mencionadas, se realizó la medición de cada uno de los patrones de medida acondicionados para este ensayo, realizando una quintuplicata, los resultados se observan en el anexo 13.

Tabla 12.

*Desviación estándar de la comparación de las dos metodologías frente al dispositivo de visión creado.*

Patrones de medida	Dispositivo de Visión	INEN 6540:2013	Impedancia INIAP
10	10.14 ±1.23	10.32 ±0.16	10.00 ±0.08
12	11.93 ±0.81	13.02 ±0.10	13.06 ±0.20
14	13.59 ±0.72	14.57 ±0.11	14.46 ±0.19
15	14.82 ±0.73	14.88 ±0.23	15.03 ±0.18
16	15.44 ±0.57	16.40 ±0.19	16.58 ±0.21
20	20.29 ±2.50	19.02 ±0.62	20.24 ±0.10
25	29.16 ±3.59	25.50 ±0.29	27.99 ±0.25
30	31.53 ±3.95	29.41 ±0.66	36.30 ±0.20
35	34.68 ±1.89	34.17 ±0.22	45.58 ±0.12

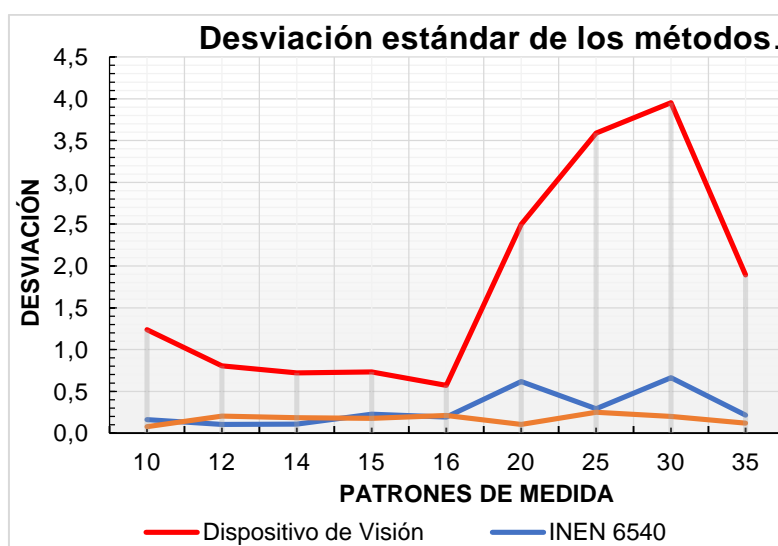
*Nota: La desviación de cada padrón de medida, evaluadas con tres diferentes metodologías en la determinación de la humedad del maíz amarillo.*

En la tabla 12 se presenta los resultados del análisis de desviación estándar del dispositivo creado frente a métodos normalizados y estandarizados. En donde, se obtuvo una desviación de  $\pm 1.24$  para el 10%, mientras que de  $\pm 0.81$  a  $\pm 0.57$  para el 12 al 16% de humedad, esto se debe, a que la cámara óptica utilizada para la captura fue de muy baja resolución, en la cual no se pudo capturar todas las características y atributos del maíz. Por lo tanto, Escobar y Roa, (2016) utilizaron un dispositivo óptico de 5 mega pixeles para observar la

maduración de la granadilla por RGB y Moya (2011), manifiesta que el efecto de la iluminación y la dirección de luz determina las características físicas de la superficie de la muestra, por lo tanto se debe en mejorar el sistema de iluminación y colocación de una cámara de mejor resolución.

En los patrones de medida del 20 al 35% se observó una desviación de 3.59 a 1.89 puntos, esto se debe a que el grano de maíz es más grande por efecto de la humedad, por lo tanto, el paso de la luz LED va a hacer menor que las humedades inferiores al 20%. Para corregir este efecto Cabello, Castro, y Delgado (2014) afirman se debe colocar una cámara fija de buena resolución, con una iluminación constante y controlada por un controlador de intensidad de energía.

La desviación de la metodología NTE INEN ISO 6540 (2013), se obtuvo valores de  $\pm 0.11$  a  $\pm 0.66$ , menos que 1 y mientras que él de impedancia en nuestro caso se obtuvo valores de 0.08 a 0.25 puntos desde el 10 al 35% de humedad. Mientras que Tamayo & Terán, (2018) obtuvieron diferencia significativas de 0.09 a 1.14 puntos, utilizando la metodología de INEN 1513 y en el de impedancia obtuvieron diferencia de  $\pm 2.2$  en la determinación de humedad de maíz en la determinación de humedades del 10 a 16%.|

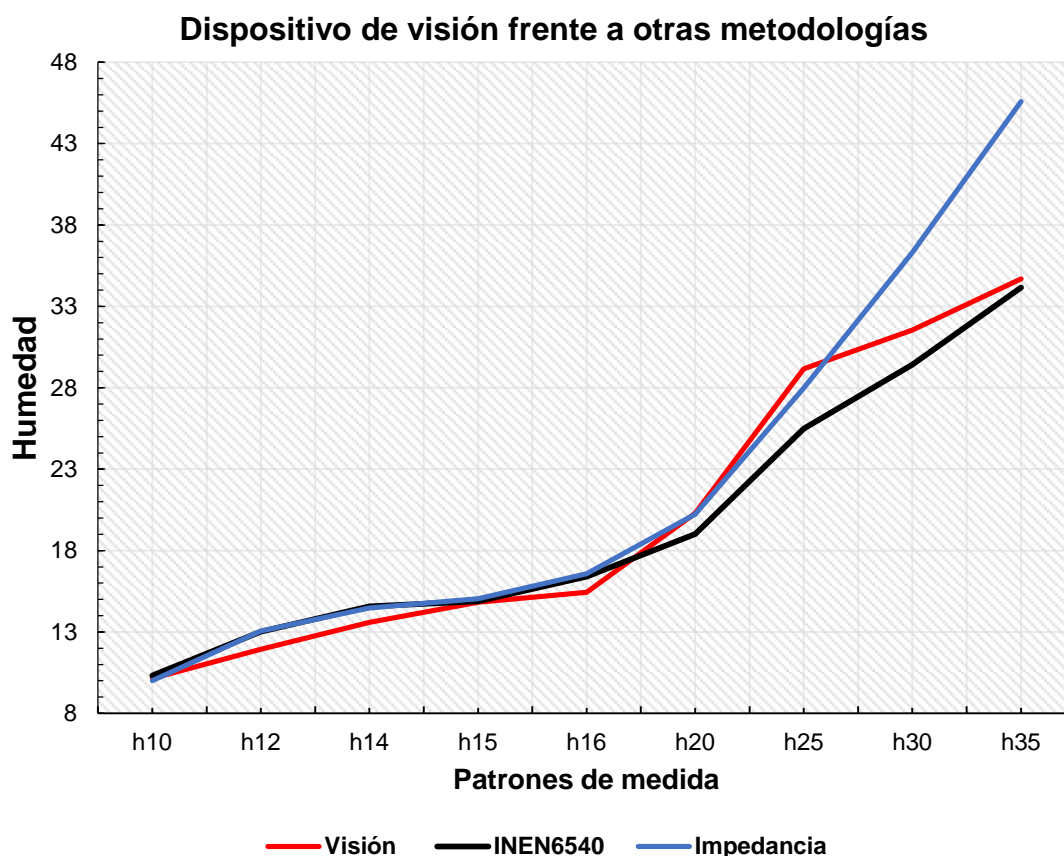


*Figura 19.* Desviación estándar de la comparación de las dos metodologías frente al dispositivo de visión.



En la figura 19 se observa las diferencias estadísticas de la desviación estándar entre el equipo de visión frente a los métodos de INEN 6540 e Impedancia, donde se observa que la curva de visión presenta menor rango de precisión en la determinación de la humedad del maíz amarillo en grano entero, especialmente en las humedades mayor al 20%.

Mientras que el método de la NTE INEN ISO 6540 (2013), e impedancia en la desviación estándar son estadísticamente idénticas, donde el rango de precisión es menor a 0.5 puntos porcentuales, lo que los hace métodos confiables hasta humedades no mayores al 20%.



*Figura 20.* Comparación y desempeño del dispositivo de visión frente a otras metodologías

En la figura 20 se observa la comparación de las metodologías entre visión y INEN e impedancia en la determinación de la humedad de maíz amarillo, en la

cual se puede observar que estadísticamente que las tres metodologías no presentan diferencias significativas al medir la humedad desde el 10 al 20%.

Mientras que, desde el 20 al 35% se analizó que el dispositivo de visión y el método de referencia INEN 6540:2013 son estadísticamente iguales, no existen diferencias significativas en la determinación de la humedad, es decir, que el equipo de visión creado puede medir humedades desde el 10 a 35%. A diferencia del método de impedancia que desde el 20% en adelante la medición es errónea por lo tanto el resultado no corresponde con la humedad conocida.

Por lo tanto, el equipo de visión en espectro visible asistido por computadora puede determinar la humedad del maíz desde los campos de cultivo hasta su industrialización, es decir, cuando la gramínea ha llegado a su madurez fisiológica, época en la que se realiza la cosecha donde la humedad se encuentra entre los 35 a 38% (Rousseau, FAO para América Latina y El Caribe, 1984).

Los equipos de mayor utilidad en el mercado son los de capacitancia e impedancia; pero como se comprobó que estos dispositivos miden estadísticamente igual desde 10 al 20%, mientras que humedades superiores a este valor, su resultado es erróneo, por lo que, los productores de granos no confían en estos dispositivos, lo que los lleva a utilizar prácticas ancestrales de la comprobación del secado, es decir la, determinación de la humedad mediante la utilización de los dientes molares, por el sonido de los granos al mezclarlos, color y dureza.

El desarrollo, diseño y validación de este nuevo dispositivo es de gran utilidad para productores, comercializadores, almacenistas y agroindustrias, ya que pueden utilizar el dispositivo desde el campo hasta la industrialización del producto, al ser un equipo manejable, portable, confiable y al funcionar como sistema de trazabilidad para el monitoreo de la humedad al tener un sistema de almacenamiento de imágenes.

Tabla 13.

*Análisis de la varianza de la comparación de metodologías en la determinación de humedad en maíz amarillo.*

<b>Fuentes de variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Tratamientos	12009,92	26	461,92	288,31	<0,0001
Metodologías	150,37	2	75,18	46,93	<0,0001
Patrones de medida-humedad	11418,55	8	1427,32	890,86	<0,0001
Interacción entre metodologías y patrones de humedad	441,00	16	27,56	17,20	<0,0001
Error experimental	173,04	108	1,60		
<b>Total</b>	<b>12182,95</b>	<b>134</b>			

*Nota: Análisis de varianza del DCA con arreglo, factorial 3\*9 con 5 repeticiones.*

Dado que el p-valor es igual a 0,0001 < a que 0,05 esperado, se rechaza la hipótesis nula “No existen diferencias significativas en la medición de la humedad de los granos de maíz amarillo entre el método de visión, frente a los métodos de referencia internacional: impedancia y gravimetría (estufa)”. Por lo tanto, se concluye que, si existen diferencias significativas entre metodologías utilizadas, por lo que existe una interacción entre los métodos y patrones de humedad establecidos desde el 10 a 35%.

Tabla 14.

*Análisis de medias de las metodologías utilizadas para la determinación de humedades en maíz amarillo duro.*

<b>Metodologías</b>	<b>Promedio de humedades</b>	<b>Desviación Estándar</b>	<b>Interpretación</b>
Impedancia	22,14	11.5	A
Dispositivo de Visión	20,18	9	B
INEN 6540	19,70	7.8	B

*Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la tabla 14 se puede observar el análisis de medias de las metodologías utilizadas en la determinación de la humedad del maíz en grano entero, donde identificó que el método de impedancia es estadísticamente diferente a los otros, es decir que este equipo tiene un promedio de 22.14 en la determinación

de las humedades desde el 10 al 35%, esto se debe a que el método es confiable del 10 al 20% con un nivel de confianza de  $\pm 0.10$  a  $\pm 0.28$ , mientras que a partir del 20% en adelante el resultado es erróneo, generando una desviación de 11.5 puntos porcentuales con relación al patrón de medida establecido.

A diferencia del dispositivo de dispositivo de visión y la metodología INEN 6540:2013 que no son significativamente diferentes, es decir, estos dos métodos estadísticamente son iguales al medir la humedad de maíz amarillo en los rangos desde el 10 al 35%.

Tabla 15.

*Comparación de medias de los patrones de medida acondicionados.*

Niveles de humedad (%)	Promedio de humedades (%)	Desviación Estándar	Interpretación
35	38,14	5.54	A
30	32,42	3.67	B
25	27,55	2.50	C
20	19,85	1.50	D
16	16,14	0.62	E
15	14,91	0.43	E F
14	14,21	0.61	F
12	12,67	0.70	G
10	10,15	0.68	H

*Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la tabla 15 se puede observar las medias de la determinación de la humedad para cada uno de los patrones de medida acondicionados, los mismos que fueron medidos por las tres metodologías en estudio, donde se puede observar que en los niveles del 10 al 16% no existen diferencias significativas, con un nivel de desviación menor al 1%.

Mientras que los niveles del 20 al 35% son significativamente diferentes con un nivel de significancia del 0.05%, esto se debe a que el método de impedancia arrojó valores totalmente erróneos, lo que genera desconfianza para la determinación de la humedad para estas condiciones.

Tabla 16.

*Interacción entre las metodologías y los niveles de humedad evaluados en la determinación de humedad del maíz amarillo.*

N°	Tratamientos	Promedio humedad	Desviación Estándar	Interpretación
1	Impedancia	35	45,58	0.12 A
2	Impedancia	30	36,30	0.20 B
3	Visión	35	34,68	1.95 B
4	INEN 6540	35	34,17	0.22 B C
5	Visión	30	31,54	2.88 C D
6	INEN 6540	30	29,41	0.66 D E
7	Visión	25	29,16	4.01 D E
8	Impedancia	25	27,99	0.25 E F
9	INEN 6540	25	25,49	0.29 F
10	Visión	20	20,29	2.79 G
11	Impedancia	20	20,24	0.10 G
12	INEN 6540	20	19,01	0.62 G H
13	Impedancia	16	16,58	0.21 H I
14	INEN 6540	16	16,40	0.19 H I
15	Visión	16	15,45	0.65 I J
16	Impedancia	15	15,03	0.18 I J
17	INEN 6540	15	14,88	0.23 I J K
18	Visión	15	14,82	0.76 I J K
19	INEN 6540	14	14,58	0.11 I J K
20	Impedancia	14	14,46	0.19 I J K
21	Visión	14	13,59	0.83 I J K
22	Impedancia	12	13,06	0.20 J K L
23	INEN 6540	12	13,02	0.10 J K L M
24	Visión	12	11,93	0.93 K L M
25	INEN 6540	10	10,32	0.16 L M
26	Visión	10	10,14	1.08 L M
27	Impedancia	10	10,00	0.08 M

*Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )*

En la tabla 16 se observa la interacción de las metodologías con relación a los niveles de humedad media para cada uno de los patrones de medida acondicionados, en la cual, se observa que el tratamiento 27 es estadísticamente diferentes, es decir que, al medir la humedad con el método de impedancia se determinó una media de 10% para este patrón (tratamiento 27), mientras que los tratamientos 1 y 2, la medición es totalmente errónea con

relación al mismo método y comparado con el método de referencia NTE INEN ISO 6540 (2013).

Tabla 17.

*Ecuación de regresión y coeficiente de correlación, mediante la utilización de dos metodologías frente al dispositivo de visión.*

Estadísticos	Metodologías analizadas		
	Dispositivo de Visión	INEN 6540:2013	Impedancia INIAP
Ecuación de regresión	$y = 3.2266x + 4.0447$	$y = 2.8421x + 5.4882$	$y = 4.0714x + 1.7813$
Coefficiente de correlación	$R^2 = 0.9141$	$R^2 = 0.9135$	$R^2 = 0.8589$

Luego de haber realizado la comparación de las metodologías para determinar la humedad del maíz amarillo, se calculó la ecuación de regresión lineal para cada uno de los métodos estudiados, con el fin de poder ajustar estos valores reales para futuras investigaciones desde el 10 al 35% para maíz amarillo duro.

Así mismo en la tabla 17 se presenta el coeficiente de correlación de cada una de las metodologías, donde se puede observar que en el dispositivo de visión se obtuvo un valor de  $R^2$  0.9141, INEN 6540 es de 0.9135, mientras que impedancia 0.8589; esto se debe a que el dispositivo mide con precisión hasta la humedad del 20%, de allí en adelante el valor es erróneo con relación al de visión e INEN 6540.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Los patrones de medida acondicionados desde el: 10, 12, 14, 15, 16, 20, 25, 30 y 35% con humedades conocidas, utilizados para el análisis, calibración y programación del dispositivo de visión, tuvieron una desviación estándar de  $\pm 0.11$  a  $\pm 0.47$ , determinados mediante la normativa de referencia de la NTE INEN ISO 6540 (2013) para el maíz.

El diseño, creación y validación del dispositivo fue realizado bajo el principio de la visión artificial en espectro visible asistido por computadora, el mismo que es un equipo innovador y confiable para la determinación de la humedad del maíz amarillo y otros granos.

Para la creación, diseño y validación del dispositivo se utilizaron materiales, equipos y softwares accesibles, que son de bajo costo para su adquisición, por lo tanto, el equipo creado mediante el sistema de visión artificial en espectro visible tiene las siguientes características: de fácil manejo, de material resistente, duradero, portable y accesible para pequeños, medianos productores, comercializadores, almacenistas e industrializadores del maíz amarillo.

El dispositivo de visión en espectro visible, diseñado para la determinación del contenido de humedad del maíz amarillo, está compuesto por cinco componentes principales: base iluminada, cápsula para submuestras a analizar, protector de luz externa, cámara fotográfica y un computador con el software Matlab R2015b codificado y programado para la determinación de la humedad.

La determinación del contenido de humedad en el equipo de visión y la codificación del software consiste en: capturar las imágenes en el dispositivo, luego se pasan estos archivos en formato JPG para ser analizados en el programa Matlab R2015b, donde se obtiene tres matrices RGB (Red, Green,

Blue), donde se observa que el rojo es el color más predominante y el más sensible que se relaciona con la humedad de los granos, posteriormente se convierte a escala gris, en la cual se elimina colores blancos, negros o muy oscuros, con el fin de evaluar la intensidad y/o dispersión del color y determinar el tamaño en pixeles de la muestra de maíz.

Realizando la prueba de linealidad del dispositivo de visión se observó una curva polinómica de grado 6 negativa, de la determinación de la humedad de los patrones de medida acondicionados, es decir, la línea de tendencia tiende a disminuir desde el 10.3 al 34.1%, por lo que se concluye que a mayor tamaño (pixeles) de la imagen, mayor es el paso de luz LED por la muestra, por lo tanto, la humedad de los granos va hacer menor.

En el ensayo de exactitud se determinó que el dispositivo de visión en espectro visible es estadísticamente igual que el método de referencia INEN 6540:2013, al medir la humedad conocida de los patrones de medida del 10.30 al 16%, con un margen de error menor al 1%, mientras que, desde el 20 al 35% se observa una desviación de  $\pm 1.89$  a  $\pm 3.95\%$ .

Al comparar el dispositivo de visión creado con el método de referencia INEN 6540:2013 e Impedancia, se determinó que estadísticamente no existen diferencias significativas al medir la humedad del 10 al 20% entre los tres métodos. Mientras que, desde el 20 al 35% se observó que el dispositivo de visión y el método de referencia INEN mide la humedad con una desviación de  $\pm 0.53\%$ , a discrepancia del método de impedancia que solo mide hasta el 20%, de aquí en adelante el resultado es erróneo con una desviación de  $\pm 11\%$ .

La determinación de la humedad en el dispositivo de visión es rápida en menos de un minuto por muestra, es un método no es destructivo, es confiable y lo más importante es que sirve como muestra de trazabilidad y legalidad para poder comprobar después, ya que los archivos se almacenan en una base de datos, mientras que, en las otras metodologías no sucede lo mismo.



## 5.2. Recomendaciones

Las muestras para la determinación de la humedad en el dispositivo de visión deben estar: limpias, libre de materiales extraños que no sean maíz, los granos deben estar enteros, ni partidos, no molidos, con el fin de garantizar una buena medición.

El dispositivo debe estar ubicado en un lugar plano, libre de humedades ambientales altas, para evitar humedad en las paredes internas del dispositivo, además se debe trabajar con mucho cuidado ya que tiene componentes frágiles.

Para la determinación de la humedad en el dispositivo de visión se debe seguir todos los procedimientos descritos en la presente investigación.

Se recomienda realizar futuras investigaciones para la determinación de la humedad con el dispositivo de visión creado en otros granos como cereales, los mismos que deben ser de similares características a las del maíz, con el fin de comprobar su funcionalidad, desempeño e integridad.

Se recomienda realizar todas las gestiones necesarias para la emisión de una patente a la invención creada bajo el principio de visión artificial en espectro visible, teniendo en cuenta que hasta la actualidad no existe equipos, métodos validados bajo esta técnica, para la determinación de la humedad de granos y cereales.

Además, se debe elaborar un aplicativo móvil para teléfonos inteligentes para la determinación de la humedad, con la finalidad de que el usuario de manera, rápida y automática pueda capturar, procesar e interpretar desde su smartphone la muestra de maíz, otros granos o cereales, una vez que tenga acceso al dispositivo de visión en espectro visible creado.

## REFERENCIAS

- Abadía, B., y Bartosik, R. E. (2013). Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos. Recuperado el 15 de enero de 2019 de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manual\\_de\\_buenas\\_practicas\\_en\\_poscosecha\\_de\\_granos\\_reglon\\_48-2.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf)
- Baca, L., y Cordero, V. (2016). La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito- Ecuador. Recuperado el 15 de enero de 2019 de [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12652/La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relacion con la soberania alimentaria - Luis Al.pdf?sequence=1](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12652/La%20produccion%20de%20maiz%20amarillo%20en%20el%20Ecuador%20y%20su%20relacion%20con%20la%20soberania%20alimentaria%20-%20Luis%20Al.pdf?sequence=1)
- Banco Central del Ecuador. (2018). Reporte de coyuntura sector agropecuario. Recuperado el 22 de enero de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc201504.pdf>
- Blanco, Y., Durañona, H., y Acosta, R. (2016). Efecto de la temperatura y la humedad en la conservación de granos de maíz en silos metálicos refrigerados. *Cultop*, 37(4), 105-114. Recuperado el 25 de enero de 2019 de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362016000400010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000400010)
- Cabello, E., Castro, G., y Delgado, J. (2014). Un sistema de visión artificial para detectar y estimar el tamaño de rocas. Recuperado el 30 de de enero de 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/241142674\\_UN\\_SISTEMA\\_DE\\_VISION\\_ARTIFICIAL\\_PARA\\_DETECTAR\\_Y\\_ESTIMAR\\_EL\\_TAMANO\\_DE\\_ROCAS?enrichId=rgreq-ee026805f7e84bc3bcc1f4e5ac67cb51-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI0MTE0MjY3NDtBUzoxMDI0NDM4MTE2MDY1MjhAMTQwMTQzNTkx](https://www.researchgate.net/publication/241142674_UN_SISTEMA_DE_VISION_ARTIFICIAL_PARA_DETECTAR_Y_ESTIMAR_EL_TAMANO_DE_ROCAS?enrichId=rgreq-ee026805f7e84bc3bcc1f4e5ac67cb51-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzI0MTE0MjY3NDtBUzoxMDI0NDM4MTE2MDY1MjhAMTQwMTQzNTkx)
- Cespón, M., Curbelo, G., Varela, D., y García, A. (2015). Control de la temperatura para la prevención de plagas poscosecha en la conservación de granos. *Ingeniería y Desarrollo*, 33 n. 2, 2145-9371.

- Recuperado el 25 de febrero de 2019 de <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v33n2/v33n2a05.pdf>
- Codex Standard 153. (1985). Norma del Codex para el maíz. (CODEX STAN 153-1985). Recuperado el 15 febrero de 2019 de [http://www.fao.org/input/download/standards/51/CXS\\_153s.pdf](http://www.fao.org/input/download/standards/51/CXS_153s.pdf)
- Escobar, D., y Roa, E. (2016). Sistema de visión artificial para la identificación del estado de madurez de frutas (granadilla). *Redes de Ingeniería*, 7(1), 78. recuperado el 15 de enero de 2019 de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/REDES/article/view/10056/11679>
- FAO. (2012). Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Recuperado el 25 de octubre del 2018 de <http://www.fao.org/3/x5027s/x5027S00.htm>
- FAOSTAT. (2019). Estadísticas mundiales del cultivo de maíz. recuperado el 24 de febrero 2019 de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura - FIRA. (2016). Panorama agroalimentario del maíz. Recuperado 17 de abril de 2018, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama\\_Agroalimentario\\_Ma\\_z\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf)
- Ferraguti , F., Tamagnone, M., Baldan, L., Barberis , F., Cristos, D., Moschini, R. (2018). Calidad comercial e inocuidad de maíces de fecha tardía y determinación del momento óptimo de cosecha. Recuperado el 31 de febrero de 2019 de <https://www.engormix.com/micotoxinas/articulos/calidad-comercial-inocuidad-maices-t42716.htm>
- Fretes, F., y Martínez, M. (2011). Maíz análisis de la cadena de valor. Recuperado el 20 de febrero de 2019 de <https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1862/maiz.pdf>
- García, I. (2008). Visión artificial y procesamiento digital de imágenes usando matlab. Recuperado el 20 de octubre del 2018 de [https://kupdf.net/download/vision-artificial-y-procesamiento-digital-de-imagenes-usando-matlab\\_58a776106454a7c852b1eaa0\\_pdf](https://kupdf.net/download/vision-artificial-y-procesamiento-digital-de-imagenes-usando-matlab_58a776106454a7c852b1eaa0_pdf)

- García, I., y Caranqui, V. (2015). La visión artificial y los campos de aplicación. *Tierra infinita*, (4), 142-150. Recuperado el 15 de abril de 2019 de <http://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/tierrainfinita/article/view/76/112>
- García, C., Dussan, S., y Gutiérrez, N. (2012). *Oven microwave use in the determination of moisture content water content: cassava, yam and plantain*. *Rev.Bio.Agro* 10 (1), 60-66. Recuperado el 10 de marzo de 2019 de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612012000100008&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000100008&lang=es)
- Gómez, F., y Domínguez, M. (2015). Fundamentos de la visión artificial. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de <https://rodas5.us.es/file/26a3632e-7124-4e72-b045-d9ae3edd3938/1/Fundamentos%20de%20la%20Vision%20Artificial.pdf>
- Hernández, C., Rodríguez, Y., Niño, Z., y Pérez, S. (2009). Efecto del almacenamiento de granos de maíz (*Zea mays*) sobre la calidad del aceite extraído. *Informacion Tecnologica*, 20(4), 21-30. Recuperado el 20 de abril de 2019 de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v20n4/art04.pdf>
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2010). Guía técnica: validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición. Recuperado 25 de mayo de 2018 de [https://www.academia.edu/7849711/Guia\\_de\\_validaci%C3%B3n\\_de\\_m%C3%A9todos\\_instituto\\_salud\\_publica\\_chile](https://www.academia.edu/7849711/Guia_de_validaci%C3%B3n_de_m%C3%A9todos_instituto_salud_publica_chile)
- INEN. (2013). NTE INEN-ISO 6540 Maíz. determinación del contenido de humedad (en granos molidos y granos enteros). Recuperado el 20 de marzo de 2019 de <https://drive.google.com/file/d/1GL-pYyWRxBaP91rL5pVZzQbbUdyoSaDp/view>
- INEN. (2013). NTE INEN 187: Cereales y leguminosas, maíz en grano, requisitos. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de <https://181.112.149.204/buzon/normas/187-3R.pdf>

- López, E. (2012). Importancia de la metrología en la determinación del contenido de humedad en granos. Recuperado el 25 de marzo de 2019 de [http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/5\\_Importancia\\_metrologia\\_humedad\\_en\\_granos\\_final.pdf](http://www.cenam.mx/eventos/enme/docs/5_Importancia_metrologia_humedad_en_granos_final.pdf)
- Martines, E. (2006). Evaluación de un medidor de contenido de humedad en granos básicos en el principio de capacitancia eléctrica. En *Simposio de Metrología*. recuperado el 29 de marzo del 2019 de <http://www.cenam.gob.mx/memsimp06/Trabajos%20Aceptados%20para%20CD/Octubre%2025/Bloque%20A/A5-Propiedades%20Termofisicas%20y%20Humedad/A5-2.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Ganaderio - MAG. (2017). Situacional del maiz duro seco. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de [http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/boletin\\_situacional\\_maiz\\_duro\\_2017.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/boletines/situacionales/boletin_situacional_maiz_duro_2017.pdf)
- Montoya, C., Cortés, J., y Chaves, J. (2014). Sistema automático de reconocimiento de frutas basado en visión por computador. *Revista Chilena de Ingeniería*, 22(4), 504-516. recuperado el 15 de marzo de 2019 de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5887/tfe-mor-sis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moya, K. (2011). Determinación de la calidad en papas tipo french fries mediante visión computacional y estudio de sus propiedades físicas. Recuperado el 20 de abril de 2019 de <https://docplayer.es/71761025-Determinacion-de-la-calidad-en-papas-tipo-french-fries-mediante-vision-computacional-y-estudio-de-sus-propiedades-fisicas.html>
- Negrete, T., y Llaguno, J. (2017). Comparación de técnicas de visión artificial para determinar el grado de fermentación de varios tipos de granos de cacao en el proceso postcosecha en la región litoral del Ecuador. recuperado el 20 de noviembre del 2018 de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15007/1/UPS-CT007403.pdf>

- Quiroz, D., y Merchan, M. (2016). Guía para facilitar el aprendizaje del manejo integrado del cultivo de maíz. Recuperado el 20 de enero de 2019 de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3302/1/iniapscpm190.pdf>
- Rousseau, J.; FAO para America Latina y El Caribe. (1984). Cosecha de granos: trigo, maíz, fréjol y soya. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de <http://www.fao.org/3/x5051s/x5051s00.htm#Contents>
- Romero, A., Marín, A., y Jiménez, J. (2015). Sistema de clasificación por visión artificial de mangos tipo Tommy. *Rev.UIS Ingenierías*, 14(1), 21-31. Recuperado el 20 de enero de 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/277557784\\_Sistema\\_de\\_clasificacion\\_por\\_vision\\_artificial\\_de\\_mangos\\_tipo\\_Tommy](https://www.researchgate.net/publication/277557784_Sistema_de_clasificacion_por_vision_artificial_de_mangos_tipo_Tommy)
- Rosas, I. M., Muñoz, A. G., Valverde, B. R., Salgado, J. H. H., y Bellon, M. (2007). Calidad física y fisiológica de semilla de maíz criollo almacenada en silo metálico y con métodos tradicionales en Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(1), 69-78. Recuperado el 20 de abril de 2019 de <http://www.redalyc.org/pdf/610/61030109.pdf>
- Sandoval, Z. (2005). Caracterización y clasificación de café cereza usando visión artificial. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de <http://bdigital.unal.edu.co/985/1/zulmalilianasandovalnino.2005.pdf>
- Tamayo, M., y Terán, H. (2018). Comparación de metodologías para la medición de humedad en 2 variedades de maíz morocho y suave (*Zea mays L.*). Recuperado el 20 de mayo del 2019 de <http://200.24.220.94/bitstream/33000/10210/1/UDLA-EC-TIAG-2018-29.pdf>
- Velez, J., Moreno, A., Sánchez, Á., y Sánchez, J. (2003). Visión por computador. Recuperado el 20 de enero del 2019 de <http://www.visionporcomputador.es/libroVision/VisionPorComputador.pdf>
- Viaindustrial. (2010). Medidor de humedad para granos digital portatil mt-16. Recuperado el 20 abril de 2019 de [https://www.viaindustrial.com/manuales\\_pdf/Medidor\\_De\\_Humedad\\_Para\\_Granos\\_Digital\\_Portatil\\_MT16\\_FARMEX\\_Manual\\_Esp.pdf](https://www.viaindustrial.com/manuales_pdf/Medidor_De_Humedad_Para_Granos_Digital_Portatil_MT16_FARMEX_Manual_Esp.pdf)

- Villamarin, D. (2018). Comparación de metodologías para determinación de humedad total en maíz duro (*Zea mays L.*). Recuperado el 20 de mayo de 2019 de <http://200.24.220.94/bitstream/33000/10103/1/UDLA-EC-TIAG-2018-25.pdf>
- Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., y Heredia, J. (2013). El cultivo de maíz de altura. Recuperado el enero de abril del 2019 de <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2435>
- Zapata, S., Velásquez, D., y Pardo, I. (2016). Desarrollo e implementación de un sistema de visión artificial basado en lenguajes de uso libre para un sistema seleccionador de productos de un centro integrado de manufactura (CIM). *Lámpsakos*, (Cim), 43-50. Recuperado el 20 de marzo de 2019 de [https://www.researchgate.net/publication/306023557\\_Desarrollo\\_e\\_Implementacion\\_de\\_un\\_Sistema\\_de\\_Vision\\_Artificial\\_Basado\\_en\\_Lenguajes\\_de\\_Uso\\_Libre\\_para\\_un\\_Sistema\\_Seleccionador\\_de\\_Productos\\_de\\_un\\_Centro\\_Integrado\\_de\\_Manufactura\\_CIM](https://www.researchgate.net/publication/306023557_Desarrollo_e_Implementacion_de_un_Sistema_de_Vision_Artificial_Basado_en_Lenguajes_de_Uso_Libre_para_un_Sistema_Seleccionador_de_Productos_de_un_Centro_Integrado_de_Manufactura_CIM)

## **ANEXOS**



**Anexo 1.** Diseño de la primera versión del dispositivo de visión en espectro visible para la determinación de la humedad del maíz amarillo.



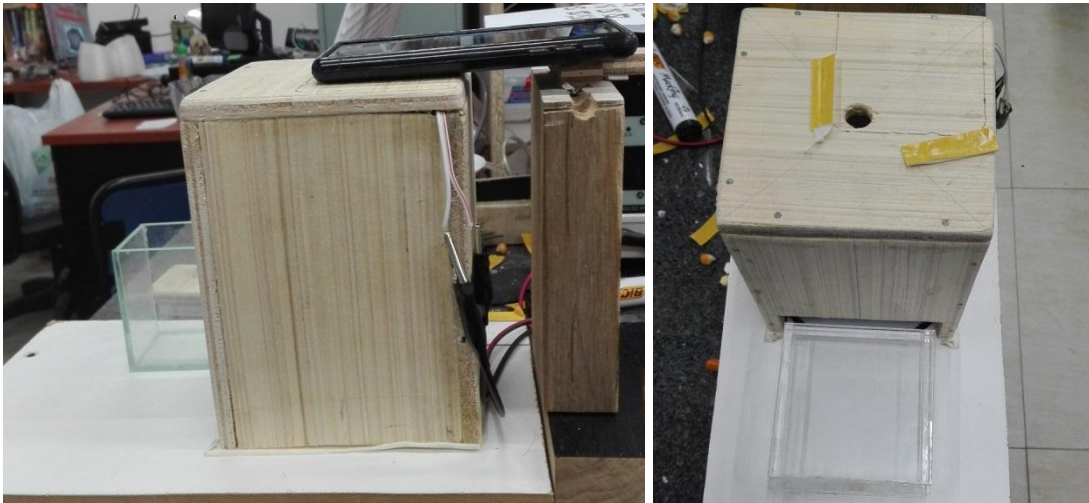
**Nota.** El primer dispositivo diseñado se lo realizó con espejos (la base y todas las paredes, como se observa en las imágenes), con el fin de iluminar todos los efectos de sombra que se producen al momento de iluminar la muestra con luz artificial.

**Anexo 2.** Diseño de la segunda versión del dispositivo de visión en espectro visible para la determinación de la humedad del maíz amarillo.



**Nota.** La segunda versión del dispositivo de visión fue diseñado e impreso en una impresora 3D, en material plástico negro acompañado de una bandeja, donde se colocaron granos de maíz como se observa en el anexo 2, luego se analizaron y no se obtuvieron los resultados esperados para la presente investigación.

**Anexo 3.** Diseño de la tercera versión del dispositivo de visión en espectro visible para la determinación de la humedad del maíz amarillo.



**Nota.** En la tercera versión del dispositivo de visión fue diseñado y estructuró en madera, con las siguientes dimensiones: 10 cm de base, 15 cm de altura de las paredes, en la parte baja se dejó una abertura para la colocación de una cápsula de 10 x 12 x 2.5 de material de acrílico transparente, en la parte superior se colocó la fuente de iluminación y la cámara de fotográfica.

No se obtuvieron buenos resultados ya que se observó el choque de la luz en la cápsula de acrílico, causando el efecto del reflejo de la muestra, por lo tanto, se trabajó en la siguiente versión.

**Anexo 4.** Diseño de la cuarta versión del dispositivo de visión en espectro visible para la determinación de la humedad del maíz amarillo.



**Nota.** En la cuarta versión del dispositivo de visión se decidió en diseñar un protector de luz externa en forma de pirámide truncada y hueca, con medidas exteriores 150x220 mm en la base por 90 x 90 mm en la base superior y 150mm de altura y en la parte inferior se dejó una abertura con dimensiones de 175 x 40 mm. El material utilizado para la construcción de la estructura fue con acrílico de 3 mm de espesor de color negro mate.

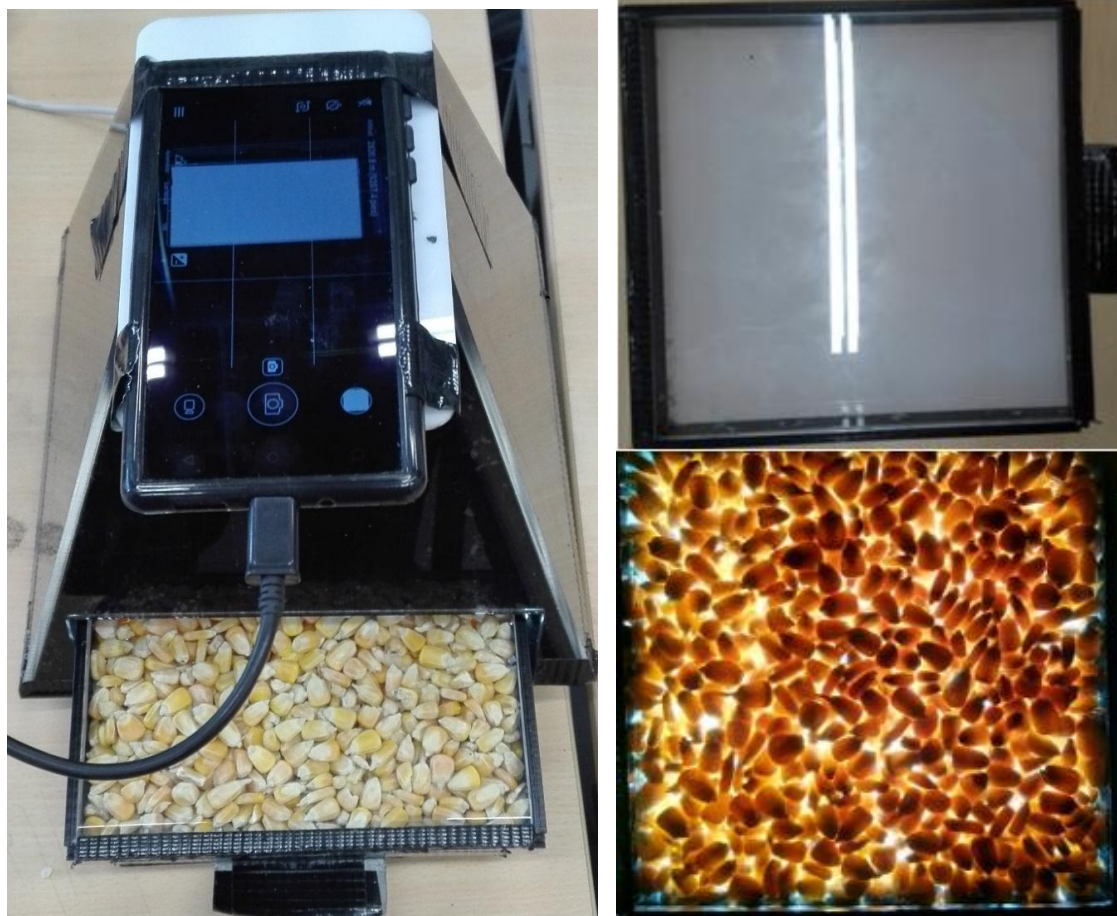
En la parte superior de la pirámide truncada se adhiere una base plana rectangular de dimensiones 150 x 90mm, la misma que servirá para colocar de forma segura una cámara fotográfica. Además, se diseñó una cápsula para la colocación de las muestras analizar, en rectangular fabricada en acrílico de dimensiones exteriores de 170 x 175 x 25 mm, el espesor de la pared es de 3 mm.

Además, en la base de la pirámide se colocó la fuente de iluminación, que corresponde a una lámpara de luz blanca directa convencional de tipo LED de 80 vatios, en forma cuadrada de 15 x 150 mm.

El resultado de esta nueva versión fue totalmente satisfactorio para lo que se está investigando que es la determinación de la humedad del maíz amarillo, por lo tanto, se mejoró este dispositivo con similares características.



**Anexo 5.** Dispositivo de visión en espectro visible final, para la determinación de la humedad del maíz amarillo.

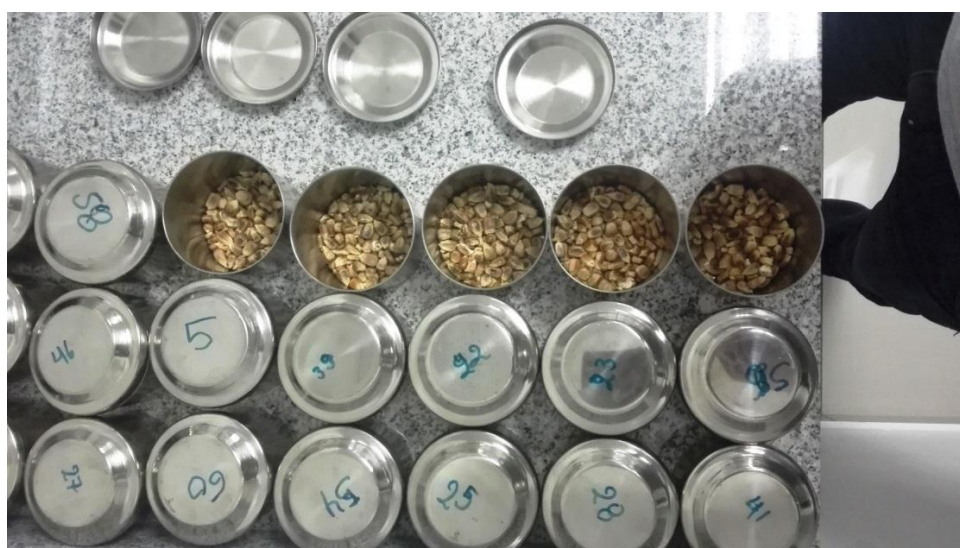


**Nota.** El anexo 5 corresponde a la última versión del dispositivo de visión diseñado, evaluado y validado para la determinación de la humedad del maíz amarillo, el mismo que se explica en resultado de la presente investigación.

**Anexo 6.** Determinación de la humedad de maíz amarillo duro, mediante el método de referencia NTE INEN 6540:2013.



**Anexo 7.** Muestras de maíz disecadas, mediante el método de referencia NTE INEN 6540:2013.



**Anexo 8.** Patrones de medida acondicionados para la calibración del dispositivo de visión para la determinación de humedad.



**Anexo 9.** Estadísticos descriptivos determinados de los patrones de medida evaluados.

Patrones medida	Estadísticos	Resultado	Desv., Error	
10	Media	10,302	0,066	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		10,132
		Límite superior		10,472
	Media recortada al 5%	10,301		
	Mediana	10,285		
	Varianza	0,026		
	Desviación	0,162		
	Mínimo	10,085		
	Máximo	10,525		
	Rango	0,440		
Humedad	Media	12,485	0,046	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		12,367
		Límite superior		12,603
	Media recortada al 5%	12,486		
	Mediana	12,486		
	Varianza	0,013		
	Desviación	0,112		
	Mínimo	12,332		
	Máximo	12,624		
	Rango	0,292		
14	Media	14,551	0,046	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		14,434
		Límite superior		14,668
	Media recortada al 5%	14,545		

	Mediana		14,529	
	Varianza		0,012	
	Desviación		0,112	
	Mínimo		14,440	
	Máximo		14,767	
	Rango		0,327	
	<hr/>			
	Media		15,032	0,115
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	14,736	
		Límite superior	15,328	
	Media recortada al 5%		15,037	
15	Mediana		15,064	
	Varianza		0,080	
	Desviación		0,282	
	Mínimo		14,628	
	Máximo		15,346	
	Rango		0,718	
	<hr/>			
	Media		16,485	0,055
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	16,344	
		Límite superior	16,627	
	Media recortada al 5%		16,481	
16	Mediana		16,469	
	Varianza		0,018	
	Desviación		0,135	
	Mínimo		16,340	
	Máximo		16,704	
	Rango		0,365	
	<hr/>			
	Media		19,882	0,085
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	19,664	
		Límite superior	20,099	
	Media recortada al 5%		19,868	
20	Mediana		19,800	
	Varianza		0,043	
	Desviación		0,207	
	Mínimo		19,732	
	Máximo		20,288	
	Rango		0,556	
	<hr/>			
	Media		25,357	0,098
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	25,106	
		Límite superior	25,609	
	Media recortada al 5%		25,362	
25	Mediana		25,400	
	Varianza		0,057	
	Desviación		0,240	
	Mínimo		24,989	
	Máximo		25,643	
	Rango		0,654	

	Media		29,306	0,190
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	28,818	
		Límite superior	29,794	
	Media recortada al 5%		29,317	
30	Mediana		29,296	
	Varianza		0,216	
	Desviación		0,465	
	Mínimo		28,624	
	Máximo		29,800	
	Rango		1,177	
	Media		34,123	0,090
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	33,893	
		Límite superior	34,354	
	Media recortada al 5%		34,124	
35	Mediana		34,136	
	Varianza		0,048	
	Desviación		0,219	
	Mínimo		33,898	
	Máximo		34,342	
	Rango		0,444	

**Anexo 10.** Códigos para el análisis de imágenes en MATLAB R2015b, capturadas en el dispositivo de visión para la determinación de la característica de interés con relación a la humedad.

```
clear all
im=imread('35h2.jpg');
im=imcrop(im,[250 500 1950 2200]); %40 30 400 400
im= imresize(im, 0.5);
subplot(1,3,1);
imshow(im);
level=0.3
bw=im2bw(im,level);
bw=bwareaopen(bw,50); %estaba en 200
subplot(1,3,2);
imshow(bw);
Valor_area=bwarea(bw);
%presenta area roja
gris=rgb2gray(im);
%subplot(2,3,2);
%imshow(gris);title('2. Transformación a escala de grises');
imR=double(im(:,:,1));
ColorRojo=max(sum(imR));
imG=double(im(:,:,2));
ColorVerde=max(sum(imG));
imB=double(im(:,:,3));
ColorAzul=max(sum(imB));
%imshow(imR,gray);title('3. Visualización de Banda ROJA original');
imR2=(imR-imG-imB); %imR2=(imR-imG-imB);
masc=(imR2>10); % valor 20
imR2=imR2.*masc;
```



```

%subplot(2,3,4);
imR2=medfilt2(imR2);
%imshow(imR2,gray);title('4. Filtro de mediana sobre banda ROJA');
imR2=imR2/255;
imR3=imadjust(imR2,[],[],1); %estaba en 1.8
%subplot(2,3,5);
%imshow(imR3,[]);title('5. Corrección GAMMA factor 1.8');
imR3BW=im2bw(imR3,0.01); %0.05
subplot(1,3,3);
imshow(imR3BW)
Valor_rojos=bwarea(imR3BW);
AreaPorcet=Valor_rojos*100/(Valor_area);

```

**Anexo 11.** Características analizadas en MATLAB R2015b para la determinación de la característica de interés que se relacionan con la humedad.

The screenshot displays the MATLAB R2015b environment. The top menu bar includes HOME, PLOTS, APPS, EDITOR, PUBLISH, and VIEW. Below the menu is a toolbar with icons for file operations (New, Open, Save, Print), navigation (Go To, Find), editing (Insert, Comment, Indent), and execution (Run, Run and Advance, Run Section, Run and Time). The workspace window on the left shows a list of variables with their names and values:

Name	Value
Valor_rojos	8.5092e+05
Valor_area	7.7955e+05
masc	1101x976 logical
level	0.3000
imR3BW	1101x976 logical
imR3	1101x976 double
imR2	1101x976 double
imR	1101x976 double
imG	1101x976 double
imB	1101x976 double
im	1101x976x3 uint8
gris	1101x976 uint8
ColorVerde	142036
ColorRojo	225192
ColorAzul	74364
bw	1101x976 logical
AreaPorcet	109.1556

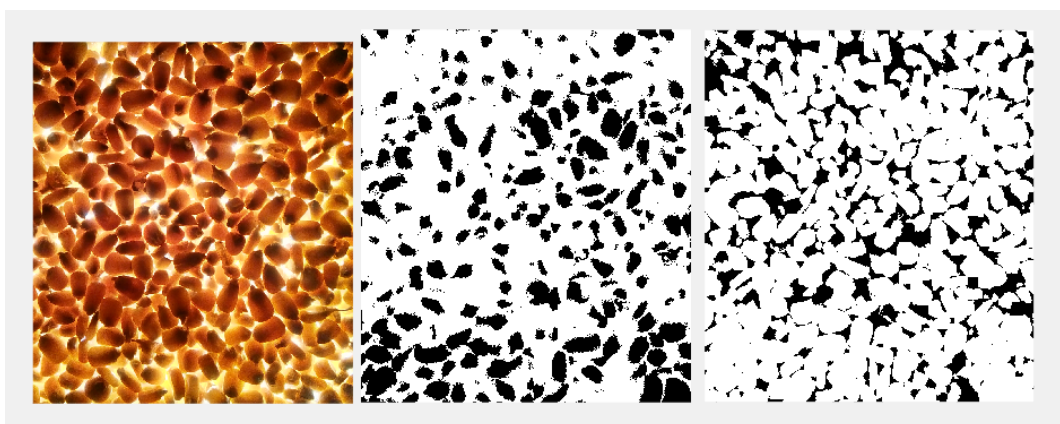
The editor window on the right shows the code for the script 'BORRADOR14.m':

```

1 %presentacion area binaria
2 clear all
3 im=imread('35h2.jpg');
4 im=imcrop(im,[250 500 1950 2200]); %40 30 400 400
5 im= imresize(im, 0.5);
6 subplot(1,3,1);
7 imshow(im);
8 level=0.3
9 bw=im2bw(im,level);
10 bw=bwareaopen(bw,50); %estaba en 200
11 subplot(1,3,2);
12 imshow(bw);
13 Valor_area=bwarea(bw);
14 %presenta area rojiza
15 gris=rgb2gray(im);
16 %subplot(2,3,2);
17 imshow(gris);title('2. Transformación a escala de grises');

```

**Anexo 12.** Análisis de una imagen analizada en MATLAB R2015b con los códigos presentados en el anexo 10 y 11 para la determinación de la humedad.



**Anexo 13.** Resultados de la medición de cada metodología evaluadas para la determinación de la humedad de los patrones de media del maíz amarillo.

Metodologías	Tratamientos	Niveles	Repeticiones					Humedad	Desv. Estándar
			R1	R2	R3	R4	R5		
Visión	T1	1	9.10	9.30	11.59	9.32	11.39	10.14	1.24
Visión	T2	2	11.88	11.67	11.84	13.23	11.02	11.93	0.81
Visión	T3	3	12.75	13.90	13.49	13.18	14.64	13.59	0.72
Visión	T4	4	15.02	14.60	15.40	13.66	15.44	14.82	0.73
Visión	T5	5	16.03	14.85	15.64	14.83	15.88	15.44	0.57
Visión	T6	6	22.82	17.96	21.41	17.28	21.96	20.29	2.50
Visión	T7	7	32.80	25.82	30.78	24.85	31.57	29.16	3.59
Visión	T8	8	26.67	28.99	37.03	32.05	32.94	31.53	3.95
Visión	T9	9	32.60	36.02	36.22	35.95	32.62	34.68	1.89
INEN 6540	T10	1	10.53	10.27	10.44	10.23	10.12	10.32	0.16
INEN 6541	T11	2	12.88	12.95	13.10	13.07	13.12	13.02	0.10
INEN 6542	T12	3	14.51	14.54	14.77	14.53	14.53	14.57	0.11
INEN 6543	T13	4	14.64	15.02	15.05	15.08	14.63	14.88	0.23
INEN 6544	T14	5	16.70	16.43	16.34	16.37	16.17	16.40	0.19
INEN 6545	T15	6	18.26	19.15	19.12	18.64	19.90	19.02	0.62
INEN 6546	T16	7	25.40	25.54	25.40	25.17	25.96	25.50	0.29
INEN 6547	T17	8	29.80	29.80	29.14	28.37	29.95	29.41	0.66
INEN 6548	T18	9	34.34	34.32	34.31	33.90	33.97	34.17	0.22
Impedancia	T19	1	10.06	10.06	9.92	10.06	9.92	10.00	0.08
Impedancia	T20	2	12.77	13.13	13.13	12.96	13.31	13.06	0.20
Impedancia	T21	3	14.60	14.60	14.26	14.60	14.26	14.46	0.19
Impedancia	T22	4	15.1	15.19	14.84	14.85	15.19	15.03	0.18
Impedancia	T23	5	16.71	16.55	16.75	16.65	16.22	16.58	0.21

Impedancia	T24	6	20.17	20.15	20.35	20.35	20.17	20.24	0.10
Impedancia	T25	7	28.12	28.36	27.91	27.8	27.76	27.99	0.25
Impedancia	T26	8	36.47	36.33	35.99	36.23	36.47	36.30	0.20
Impedancia	T27	9	45.45	45.67	45.67	45.45	45.67	45.58	0.12

---

