



Desarrollo de una aplicación móvil para el monitoreo de la fenometría vegetativa del maíz amarillo, en la sierra central ecuatoriana

Development of a mobile application for the monitoring of the vegetative phenomenon of yellow corn, in the central Ecuadorian highlands

Autores

✉ * Vladimir Javier Rojano Guamaní



✉ Ginger Lissbeth Jaramillo Tenezaca



✉ Karla Susana Cantuña Flores



✉ Gustavo Adolfo Sandoval Ruilova



✉ José María Bengochea Guevara



Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC),
Latacunga, Ecuador.

* Autor para correspondencia

Comó citar el artículo: Rojano Guamaní, V.J., Jaramillo Tenezaca, G.L., Cantuña Flores, K.S., Sandoval Ruilova, G.A. & Bengochea Guevara, J.M. 2022. Desarrollo de una aplicación móvil para el monitoreo de la fenometría vegetativa del maíz amarillo, en la sierra central ecuatoriana. *Informática y Sistemas: Revista de Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*. 6(1) 71-77. DOI: <https://doi.org/10.33936/isrtic.v6i1.4447>

Enviado: 21/02/2022

Aceptado: 09/03/2022

Publicado: 17/05/2022

Resumen

En este trabajo se presenta una aplicación móvil en la que se realizan observaciones de los parámetros de la fenometría vegetativa del maíz, es decir, valorar cuantitativamente el crecimiento de la planta teniendo presente las medidas de longitud y diámetro del tallo. Para el desarrollo de la aplicación móvil se emplea la metodología Mobile-D, la medición de la longitud y el diámetro del tallo en imágenes se basa en la colocación de un objeto de referencia junto a la planta y en el uso de técnicas del área del procesamiento digital de imágenes a través de la librería OpenCV. La precisión de la medición de la longitud y el diámetro se evalúa utilizando el estimador RMSE (error cuadrático medio) en un banco de cincuenta imágenes obteniendo una desviación estándar de la varianza de 5,41 milímetros para la longitud y de 5,27 milímetros para el diámetro.

Palabras claves: Fenometría; maíz; procesamiento digital de imágenes; OpenCV; Mobile-D.

Abstract

In this work, a mobile application is presented in which observations of the parameters of the vegetative phenometry of corn are made, that is, quantitatively assessing the growth of the plant taking into account the measurements of length and diameter of the stem. For the development of the mobile application, the Mobile-D methodology is used, the measurement of the length and diameter of the stem in images is based on the placement of a reference object next to the plant and on the use of techniques from the area of the digital image processing through the OpenCV library. The precision of the length and diameter measurement is evaluated using the RMSE (mean square error) estimator in a bank of fifty images, obtaining a standard deviation of the variance of 5,41 millimeters for the length and 5,27 millimeters for the diameter.

Keywords: Phenometry; corn; digital image recognition; OpenCV; Mobile-D.



1. Introducción

En la actualidad se resalta la importancia que tiene la tecnología en la generación de competitividad en la producción y comercialización agrícola, tanto en el mercado local como en el mercado nacional. Así también, la tecnología puede incrementar la sostenibilidad y la mejora de la seguridad alimentaria de la población (Carpio Santos, 2018). Por otra parte, el uso de la tecnología en el sector agrícola ha servido históricamente como herramienta mediadora entre el hombre y la naturaleza, su función básica es contribuir sustancialmente a transformar la naturaleza para beneficio de la gente que vive en el campo (Tapia, 2006).

El cultivo de maíz es de suma importancia en el Ecuador debido al rol significativo que cumple en seguridad alimentaria de la población (Zambrano Mendoza et al., 2019). La producción de maíz en Ecuador es de 1.2 millones de toneladas, 5.6 toneladas por hectárea de las cuales 900 000 toneladas son adquiridas por la industria nacional para la elaboración de elementos proteicos. El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) establece que la provincia de Los Ríos registra la mayor producción de maíz con un 85% del rendimiento a nivel nacional. Además, afirma que la producción del cereal se ha ido incrementando, pero sigue siendo deficitario, por lo que se deben buscar estrategias para prevenir daños en el cultivo y mejorar su producción.

El conocimiento de la fenometría o fenología cuantitativa del maíz es una valiosa herramienta de manejo agronómico, pues permite, predecir la calidad del cultivo a lo largo de sus fases vegetativas y con ello establecer un método de control efectivo que garantice su ciclo vegetativo.

Existen pocos estudios referentes a la fenometría empleando herramientas informáticas, la mayoría de estos se centran en el área de la agronomía. Zari Arévalo (2014) en su estudio registra los datos fenométricos cada siete días en plantas seleccionadas al azar, las estructuras de la planta se midieron mediante un calibrador obteniendo así, la información fenométrica de la altura, número de hojas verdes, ancho del tallo, diámetro y longitud de la mazorca. En el trabajo de López Castañeda (2015) se evaluó la altura de la planta con un flexómetro tomando el dato desde la base del suelo hasta la hoja más joven ubicada en el tercer tercio de la planta, el diámetro del tallo con un vernier tomando como referencia el primer nudo de la planta y por conteo el número de tallos secundarios. Ventura Elías (2016), en su estudio, desarrollo un muestreo al azar con frecuencia de 3 por semana en cultivos de frijol durante las cuales se midió y cuantificó la altura a partir del nudo cotiledonal, hojas verdes existentes, guías secundarias, flores, vainas llenas y maduras.

La revisión anterior sugiere la necesidad de desarrollar una aplicación informática que permita determinar de manera automática la información fenométrica de la planta de maíz con

el objeto de tomar decisiones oportunas sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo. Por tal motivo, el objetivo del presente estudio es desarrollar una aplicación móvil que permita observar los aspectos fenométricos a partir de la longitud y el diámetro del tallo empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes y el uso de la ingeniería de software para el desarrollo de la aplicación.

El estudio se encuentra organizado de la siguiente forma, en la sesión 2 se presenta el método de investigación, en la sección 3 se discuten los resultados y en la sección 4 se abordan las conclusiones del trabajo de investigación.

2. Materiales y Métodos

2.1. Aplicación de la metodología mobile D

Mobile-D es una metodología ágil orientada al desarrollo de aplicaciones móviles desarrollado por Pekka Abrahamsson y su equipo de trabajo del VTT (Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, en inglés Technical Research Centre of Finland) en Finlandia, orientados a ciclos de desarrollos muy rápidos y grupos pequeños de desarrolladores (Zambrano, 2017). La metodología Mobile-D se basa en las prácticas de eXtreme Programming (XP), metodología Crystal para la escalabilidad de los métodos y Rational Unified Process para el diseño completo de ciclo de vida.

Esta metodología está compuesta por 5 fases:

Fase de Exploración. En esta fase se define el alcance del aplicativo, el cual aborda el desarrollo de una aplicación móvil que mide la longitud y el diámetro del tallo de la planta de maíz en imágenes digitales. También aquí se especifican los requerimientos de usuario los mismos que fueron descritos de manera detallada para evitar ambigüedades Tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos de usuario de la aplicación móvil.

Fuente: Los autores.

Descripción de requerimientos de usuario
El sistema deberá permitir la segmentación de la planta de maíz.
El sistema deberá permitir medir la longitud de la planta de maíz
El sistema deberá permitir medir el diámetro del tallo de la planta de maíz

Fase de Inicialización. En esta fase se redactan las historias de usuarios con el fin de determinar la funcionalidad de la aplicación móvil entre ellas: segmentación de la planta de maíz, medición de la longitud del tallo y medición del diámetro del tallo del maíz, en la Tablas 2 se detalla una de las historias de usuario.

Tabla 2. Historia de usuario medición de la longitud del tallo.

Fuente: Los autores.

Historia de usuario			
Medición de la longitud del tallo			
Código HU:	HU0002	Fecha:	12/04/2021
Sprint:	1	Prioridad:	Alta
Actores:	Usuario	Puntos:	3
Descripción: Como usuario quiero que la aplicación móvil mida la longitud del maíz para observar los parámetros de la fenometría vegetal de la planta.			
Detalles de la HU:			
<ul style="list-style-type: none"> El usuario ingresa a la aplicación El usuario toma la fotografía de la planta El usuario ingresa los datos del objeto referencial La aplicación calcula la longitud del tallo de la planta de maíz 			
Restricciones: las medidas del alto y ancho del objeto referencial deben ser ingresadas en milímetros.			
Criterios de aceptación: los campos alto y ancho del objeto referencial deben ingresarse obligatoriamente			
DoD: la prueba funcional aplicada a esta historia de usuario generó un resultado exitoso			

Fase de Producción. En esta fase se presenta el diseño de las interfaces y la codificación de las historias de usuario. La codificación de la aplicación móvil conllevó el uso del entorno de desarrollo integrado oficial para la plataforma Android (Android Studio), el lenguaje de programación Java y la librería OpenCV para la segmentación de imágenes digitales, en la Figura 1 se muestra parte de la codificación y en la Figura 2 el diseño de la interfaz inicial.

```

public void calcular dimensiones(Integer alto_ref, Integer ancho_ref, Integer alto_tallo, Integer ancho_tallo,
int alto_print=0; int ancho_print=0; int ancho_print_2=0; int ancho_print_3=0;
String ancho_p=" ";
if((alto_tallo>0)&&(alto_ref>0)) {
alto_print = ((objeto.alto + alto_tallo) / alto_ref); //alto del tallo
}
if((ancho_tallo>0)&&(ancho_ref>0)) {
ancho_print=(objeto.ancho*ancho_tallo)/ancho_ref; //ancho del tallo
ancho_p=ancho_print+"mm - ";
}
if(ancho_ref>0) {
if (ancho_tallo_2 > 0) {
ancho_print_2 = (objeto.ancho + ancho_tallo_2) / ancho_ref; //ancho del tallo
ancho_p += ancho_print_2 + "mm - ";
}
if (ancho_tallo_3 > 0) {
ancho_print_3 = (objeto.ancho + ancho_tallo_3) / ancho_ref; //ancho del tallo
ancho_p += ancho_print_3 + "mm - ";
}
}
    
```

Figura 1. Codificación en Android Studio de la historia de usuario.

Fuente: Los autores.



Figura 2. Interfaz inicial del aplicativo móvil.

Fuente: Los autores.

Fase de Estabilización. Aquí se llevó a cabo la integración de las funcionalidades establecidas en la fase de inicialización conjuntamente con el desarrollo del código fuente con el fin de obtener una aplicación amigable para el usuario. Así como también, se procede con la documentación del aplicativo, en la Figura 3 se muestra la interfaz de ayuda para el usuario.



Figura 3. Interfaz de ayuda para el usuario

Fuente: Los autores.

Fase de Pruebas. Empleando los casos de prueba se determina si las historias de usuario son completamente satisfactorias, en la Tabla 3 se muestra el caso de pruebas correspondiente a la historia de usuario medición de la longitud del tallo.

2.2. Implementación de procesamiento digital de imágenes

El procesamiento o tratamiento digital de imágenes consiste en procesos algorítmicos que transforman una imagen en otra en donde se resalta cierta información de interés, y/o se atenúa o elimina información irrelevante para la aplicación. Así, las tareas del procesamiento de imágenes comprenden la supresión de ruido, mejoramientos de contraste, eliminación de efectos no deseados en la captura como difuminaciones o distorsiones por efectos ópticos o de movimiento, mapeos geométricos,



Tabla 3. Caso de prueba historia de usuario medición de la longitud del tallo
Fuente: Los autores.

Caso de prueba			
Medición de la longitud del tallo			
Código HU:	HU0002	Autor del Caso de Prueba:	D i a n a Cando
ID/Nombre Caso de Prueba:	CP002	Fecha de Creación:	1 de Junio del 2021
Versión 1.0	Usuario	Fecha de Ejecución:	08 de Julio del 2021
Flujo de casos de prueba:			
Nro.	Descripción del paso	Resultado Esperado	Resultado Obtenido
1	La aplicación realiza el cálculo de la longitud de maíz.	La aplicación realiza el cálculo de la longitud de maíz.	La aplicación si realiza satisfactoriamente el cálculo de la longitud del maíz.
2	No se captura la planta.	La aplicación no podrá medir la longitud.	La aplicación si permite medir la longitud.
Decisión de Aprobación del Caso de Prueba: Aprobó: <u>X</u>			
Fallo: <u>___</u>			
Nombre y firma del Probador		Diana cando	

transformaciones de color, etc., (Alvarado, 2012).

La articulación del procesamiento digital de imágenes en la aplicación móvil implicó seguir el siguiente protocolo:

Adquisición de las imágenes:

En la fase de adquisición de datos se estimó un banco de 60 imágenes de plantas de maíz en formato jpg. Las imágenes se tomaron en condiciones naturales de iluminación (iluminación no controlada), en diversos estados de crecimiento del cultivo, empleando la cámara posterior del teléfono móvil (Figura 4).



Figura 4. Interfaz inicial del aplicativo móvil
Fuente: Los autores.

Pre procesamiento

Una vez realizada la captura de las imágenes se seleccionan las fotografías de la planta de maíz con el objeto referencial, obteniendo así, un banco de aproximadamente 50 imágenes. Durante la limpieza de los datos no se consideraron las imágenes borrosas, imágenes en las que el tallo de la planta de maíz presenta malformaciones, o aquellas en las que la cámara haya sufrido vibraciones o movimientos bruscos al capturar las fotografías, en la Figura 5 se observa una imagen seleccionada.



Figura 5. Imagen de la planta de maíz seleccionada
Fuente: Los autores.

Procesamiento

Utilizando la librería OPENCV se segmentó la imagen digital para extraer la planta de maíz. Además, se empleó el detector de bordes Canny creando una traza de rectángulos en color rojo sobre la imagen con el objeto de establecer el cálculo de la

longitud y el diámetro del tallo de la planta de maíz, en la Figura 6 se aprecia la imagen segmentada de la planta.



Figura 6. Imagen de la planta de maíz segmentada
Fuente: Los autores.

Extracción de características:

Durante esta fase se comparan las medidas de longitud y ancho del objeto de referencia con las de la planta de maíz segmentada. A través de la librería OPENCV se dibuja un rectángulo de color verde sobre la imagen el cual identifica la longitud del tallo y uno de color naranja el cual determina el diámetro del tallo, a continuación, se calculan los valores correspondientes Figura 7.



Figura 7. Cálculo de la longitud y ancho de la planta de maíz
Fuente: Los autores.

2.3. Evaluación de la longitud y el diámetro de la planta de maíz

Para evaluar la validez de las medidas de longitud y diámetro del maíz obtenidas mediante la aplicación móvil se utiliza el error cuadrático medio (RMSE), el cual mide la cantidad de error entre dos conjuntos de datos, en este caso los valores predichos (longitud y tallo obtenidos por medio de la aplicación móvil) y los valores observados (longitud y tallo reales de las plantas de maíz). Para la construcción del conjunto de datos observados se midieron en milímetros la longitud y el diámetro del tallo en cada una de las 50 plantas de maíz utilizando un flexómetro (Figura 8). A continuación, se obtuvo el RMSE, empleando la fórmula de la Figura 9.



Figura 8. Obtención de medidas reales o valores observados de longitud y tallo
Fuente: Los autores.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

Figura 9. Fórmula error cuadrático medio (RMSE)
Fuente: Los autores.

3. Resultados

3.1. Resultados de la metodología Mobile-D

La Figura 10a presenta la ventana que permite la captura de la imagen digital a través de la activación de la cámara del dispositivo móvil. Para la captura de la imagen se recomienda colocar un objeto referencial junto a la planta, es necesario conocer las medidas del objeto. En la Figura 10b se observa la interfaz que solicita el ingreso de las medidas de longitud y ancho del objeto de referencia, de la misma forma y de manera opcional se solicita la medida del soporte, todas estas en milímetros. La Figura 10c muestra la interfaz con los resultados en milímetros de la longitud y el diámetro del tallo de la imagen de la planta de maíz capturada por medio de la cámara posterior.

4.2. Resultados de la evaluación de la longitud y diámetro de la planta de maíz

En la Figura 11 se observan los valores de la longitud del tallo del conjunto de datos predichos y del conjunto de datos observados de las 50 imágenes digitales, como se aprecia en la gráfica de línea apilada existe una variabilidad entre los dos conjuntos de datos. La figura 12 muestra los valores del diámetro del tallo del conjunto de datos predichos y del conjunto de datos observados de las imágenes digitales, de igual forma los datos presentan cierta variabilidad. El ponderado que se obtiene de la aplicación de RMSE tanto para la longitud como para el diámetro es de 5,41 y 5,27 milímetros respectivamente, estos valores determinan que la aplicación móvil calcula de manera adecuada y confiable las medidas de longitud y diámetro del tallo del maíz en la imagen.

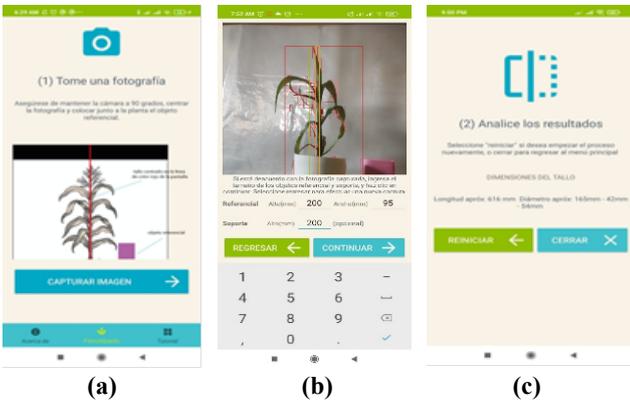


Figura 10. Interfaces aplicación móvil: a) Ventana captura de imagen. b) Ventana ingreso de alto y ancho de objeto referencial. c) Ventana resultados de longitud y diámetro de planta de maíz en imagen digital.

Fuente: Los autores.

4. Conclusiones

Se considera de suma importancia el desarrollo de aplicaciones móviles en el área de la agricultura, específicamente para observar la información fenométrica de la planta del maíz, esta aplicación es una aproximación a dos de los aspectos que conllevan las variables fenométricas: la altura y el diámetro del tallo, el uso del aplicativo permitirá tomar decisiones oportunas para mejorar el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Por otra parte, la técnica seleccionada para el cálculo de la longitud y el diámetro del tallo conlleva el uso de un objeto referencial colocado junto a la planta, así como también el uso de técnicas de procesamiento de imágenes como la segmentación y Canny para la detección de bordes. Un RMSE para la longitud de 5,41 milímetros y para el diámetro de 5,27 milímetros garantiza

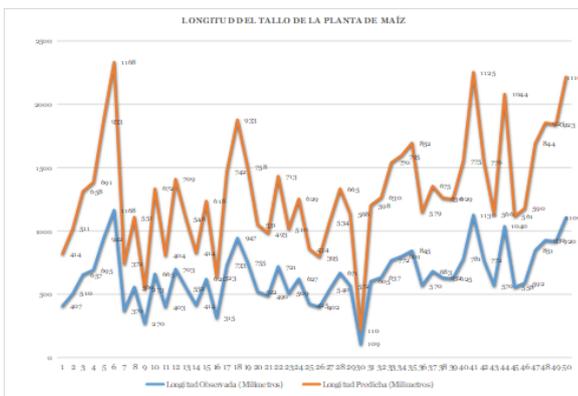


Figura 11. Conjunto de datos predichos y observados de la longitud del tallo
Fuente: Los autores.

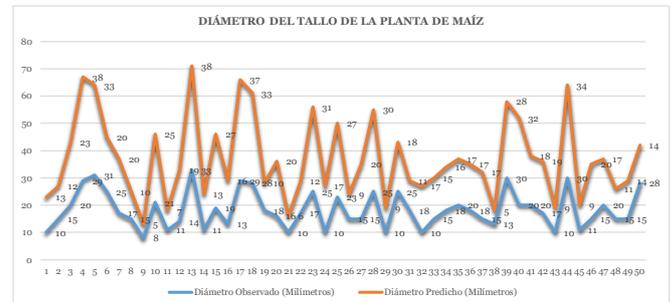


Figura 12. Conjunto de datos predichos y observados del diámetro del tallo
Fuente: Los autores.

el cálculo de la longitud y el diámetro a través de la aplicación móvil.

Contribución de los autores

Vladimir Javier Rojano Guamaní: Conceptualización, Metodología, Software, pruebas. **Ginger Lissbeth Jaramillo Tenezaca:** Conceptualización, Metodología, pruebas. **Karla Susana Cantuña Flores:** Redacción – borrador original del artículo. **Gustavo Adolfo Sandoval Ruilova:** Metodología, Redacción, revisión y edición del artículo. **José María Bengochea Guevara:** Supervisión, Redacción – revisión y edición del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

Alvarado, J. P. (2012). Procesamiento y análisis de imagen digitales. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Carpio Santos, L. K. (2018). El uso de la tecnología en la agricultura. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(14), 25–32. <https://doi.org/10.29018/ISSN.2588-1000VOL2ISS14.2018PP25-32>

López Castañeda, M. (2015). Las Apps y tipos de Apps. Universidad Tecnológica de Pereira. <http://univirtual.utp.edu.co/pandora/recursos/2000/2591/2591.pdf>

Tapia, F. (2006). Innovaciones tecnológicas en la agricultura empresarial mexicana: Una aproximación teórica. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-85972006000100005

Ventura Elías, R. (2016). Fenología y fenometría de una variedad y una línea de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en la zona occidental de El Salvador. *Agronomía Mesoamericana*, 2, 56. <https://doi.org/10.15517/AM.V2I0.25224>

Zambrano Mendoza, J. L., Yáñez, C., Sangoquiza Caiza, C. A., Limongi Andrade, R., Alarcón Cobeña, F., Zambrano Zambrano, E. E., ... & Pinargote García, L. F. (2019). *Situación del cultivo de maíz en Ecuador: investigación y desarrollo de tecnologías en el Iniap*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5457>

Zambrano, W. (2017). Estudio comparativo de metodologías de desarrollo ágil en base al desarrollo de una aplicación móvil. *Ekp*, 13(3), 1576–1580. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/9445>

Zari Arévalo, B. D. (2014). Determinación de las fases fenológicas, fenométricas e índice de balance hídrico en el cultivo de maíz duro (*Zea mays L.*), bajo condiciones de secano, en el cantón Pindal provincia de Loja. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/11136>

