

Sistema integrado de navegación y sensado en campo para relevamiento de parámetros biofísicos en diferentes estados fenológicos de maíz.

Eduardo Álvarez¹, Sandra Serafino¹, Benjamin Cicerchia³,
Claudia Russo^{1,2}, Hugo Ramón^{1,2}, Roberto Lorea⁴

¹ Instituto de Investigación y Transferencia en Tecnología (ITT), Escuela de Tecnología, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA) – Centro Asociado de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. De Bs. As. (CIC)

² Investigador Asociado de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. De Bs. As. (CIC)

³ Becario de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. De Bs. As. (CIC). Sarmiento y Newbery (CP 6000), Junín, Buenos Aires, Argentina. Teléfonos (0236) 4636945/44

{eduardo.alvarez, sandra.serafino, lucas.cicechia, claudia.russo, hugo.ramon}@itt.unnoba.edu.ar

⁴ INTA, EEA Pergamino. (2700) CC 31, Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Teléfonos (02477) 439000
lorea.roberto@inta.gob.ar

Resumen. La recopilación de datos fenotípicos de un cultivo a campo comprende tareas como el relevamiento y monitoreo sistemático, el análisis y la evaluación de los datos relevados (RMAE). Este trabajo presenta un modelo RMAE basado en un sistema de navegación integrado con sensado de imágenes en campo. Se utilizan técnicas de visión artificial y procesamiento de señales no sólo para la recolección de los datos biofísicos de cultivo de maíz a lo largo de la evolución de sus estados fenológicos, sino también para el monitoreo y evaluación posterior de los mismos. La presente solución plantea el uso de una plataforma de navegación por ensayos integrada con la interacción de dos módulos de trabajo independientes. El objetivo es automatizar el estudio de aspectos cualitativos y cuantitativos del cultivo de maíz, en relación a su variabilidad fenológica, morfológica, fisiológica, temporal y espacial.

Key words: Agricultura de Precisión. Relevamiento datos fenológicos. Procesamiento Imágenes. Sensado a campo.

1 Introducción

Está claro que el desarrollo tecnológico debe seguir incorporándose al campo. No sólo en el área de la generación de nuevas maquinarias agrícolas mediante innovación tecnológica, o en el área de nuevos desarrollos genéticos en laboratorio, sino que

también en la recopilación de datos a campo para la Agricultura de Precisión (AP), el monitoreo, el análisis y evaluación de los mismos (Sistemas RMAE), integrando el uso de nuevas herramientas [1] [2]. Estas tareas requieren de una planificación metodológica, de observación y de capacidad para el manejo de grandes volúmenes de datos. Algunas soluciones plantean la recolección de datos en forma manual mediante tablets o teléfonos celulares, y el uso de sistemas de geoposicionamiento para su registro durante el recorrido de los cultivos en sus diferentes estados evolutivos. Otras soluciones que tienden a la automatización de la recolección de datos se basan en el uso de vehículos aéreos no tripulados [3] [4], y otros en el uso de plataformas automatizadas o no de sensado a campo [5]. La principal diferencia entre ellos radica en las necesidades surgidas del tipo de dato que se desea recolectar, el período de recolección, la zona de recolección, y el análisis posterior de esos datos integrados o no a un conjunto histórico relevado.

En el caso de los ensayos que se realizan como producto de la modificación genética de semillas de maíz, los requerimientos se basan en un relevamiento de variables fenológicas del cultivo, desde sus primeros estadios hasta la propia floración de la planta, dos o tres veces a la semana, en horarios diferentes, y con la recolección de diferentes tipos de datos globales por ensayo/parcelas (por ejemplo: índice de vigorosidad) o datos particulares de cada planta (por ejemplo: área foliar, fecha floración femenina/masculina). Si bien la mayor parte de la información fenotípica carece de automatización y precisión, hoy la tecnología de imagen es una herramienta fundamental para la recopilación de datos de fenotipo de alto rendimiento. El análisis de imágenes digitales puede ser una potente alternativa para lograr un fenotipo más preciso que el ranking visual tradicional que depende de la subjetividad del operador. Así como también la integración de hardware, imágenes, software y herramientas de análisis que son utilizados en el desarrollo de diferentes plataformas de fenotipificación [6].

En este tipo de relevamiento, no sirve la utilización de imagen satelital, excepto en el caso de resultados globales por ensayo (100 por 400 m por ejemplo), donde los mismos están sujetos a la resolución espacial del sensor utilizado (30 m por píxel para Landsat8, o 250 m para MODIS, o entre 15 y 90 m para ASTER [7]). En el caso de propuestas que utilizan drones, se resuelve la calidad de la imagen obtenida porque puede administrarse la altura y el uso de diferentes sensores apropiados para el tipo de escena que quiere registrarse [8]. Sin embargo, uno de los problemas detectados es el error asociado a la ubicación y navegación del dispositivo basada en sistemas GPS cuyo error es relevante para determinados datos [9]. Esto imposibilita resolver el estado de emergencias por parcela, o cualquier otro dato que deba sensarse en estos espacios (por ejemplo parcelas de 1,4 m de ancho por 5 m de largo). Para las soluciones que se basan en la utilización de plataformas existen varias experiencias en equipo para laboratorios o invernaderos [10]. A campo en cambio, los desarrollos son menos y los costos globales de implementación son altos. Se basan en el uso de sensores de diferentes tipos en los que prevalecen los sensores de imágenes (de luz visible, multiespectral, hiperespectral y térmica). Respecto de la navegación algunas opciones utilizan plataformas de recorrido tripuladas y/o sensores montados sobre vehículos de uso agropecuario específico [11]. Otras plataformas se caracterizan por no ser tripuladas pero tampoco de navegación autónoma [5] sino dirigidas [3].

Algunas soluciones presentan problemas respecto del tamaño y la altura necesaria de las plataformas dependiendo del cultivo que se desea sensar [12] y en el tipo y disposición de sensores que dependen del tipo de dato a relevar (datos genotípicos [13], o datos fenotípicos, o ambos [14]).

El presente trabajo aborda la problemática del relevamiento de datos fenológicos a campo de forma automatizada y de bajo costo incorporando el uso de una plataforma con un sistema integrado de navegación y sensado a campo, el uso de imágenes digitales y video, y la utilización de técnicas de visión artificial y procesamiento de señales. El sistema trabaja obteniendo datos biofísicos globales y particulares de maíz durante su desarrollo evolutivo, que sirven luego para el monitoreo, análisis y evaluación de los mismos, permitiendo mejorar el estudio de aspectos cualitativos y cuantitativos en relación a su variabilidad fenológica, morfológica, fisiológica, temporal y espacial. Su desarrollo se basa en módulos independientes que pueden operar en forma paralela, utilización de técnicas de procesamiento digital de señales implementadas con bajo costo computacional, y una alta frecuencia de sensado.

2. Materiales, métodos e información a relevar

El sistema integrado que se presenta se basa en un modelo global de trabajo que incluye no sólo la plataforma y los sistemas de navegación, sino además el sistema de sensado y almacenamiento de datos a campo, y un sistema de procesamiento digital, análisis y evaluación de resultados. La interacción de los diferentes sistemas puede visualizarse en la Fig. 1.

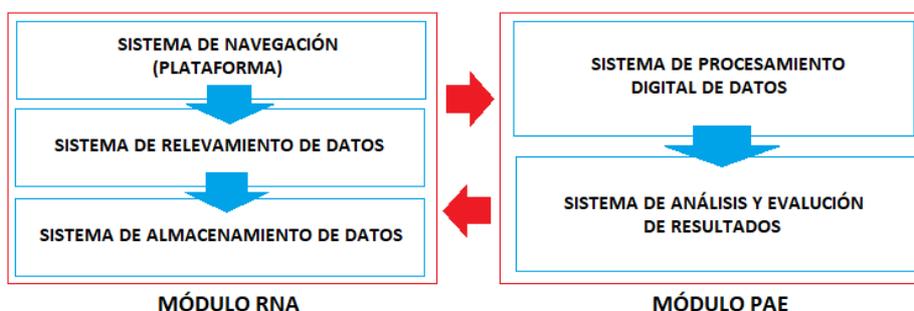


Fig. 1. Modelo integrado, sistemas que lo componen e interacción de los mismos.

Como puede observarse existen dos grandes módulos de trabajo. En el primer caso, el módulo encargado de la navegación, el relevamiento y el almacenamiento de datos (NRA), es el encargado de iniciar el proceso. La plataforma además de proporcionar el movimiento, contiene a los otros dos sistemas dentro del módulo. Tanto el sistema de relevamiento como el de almacenamiento se encuentran integrados mediante una unidad de control que los coordina. El segundo módulo PAE (procesamiento, análisis y evaluación), trabaja en forma independiente del módulo NRA. Se alimenta con los datos obtenidos por el primero. Puede trabajar de forma paralela una vez que recibe las imágenes e información sensada para iniciar el

procesamiento.

2.1 Escena

Los ensayos se plantean de forma regular en un área determinada del campo y se realizan en base a las necesidades que se tenga respecto de los datos fenológicos a relevar. Un ensayo es en líneas generales un conjunto de canteros. Los canteros tienen un largo variable (entre 100 y 400 m por ejemplo), y una separación entre ellos llamada caminos de 1 m de ancho por el largo del cantero. Están compuestos por un número preestablecido de parcelas, donde una parcela es un conjunto de dos surcos con 0,7 m de distancia entre ellos; cada parcela tiene 4,8 m de largo por aproximadamente 1,4 m. La distancia entre una parcela y otra es de 1,2 m. Un surco es una línea de siembra que tendrá un largo de 5 m. Dado que la decisión de la separación entre plantas está estipulada de antemano se conoce a priori el número de plantines que debería contener cada surco (Fig. 2).

Se plantea para esta estructura de sembrado, un recorrido lineal, utilizando los caminos entre canteros, de modo que los sensores abarquen en cada recorrido la totalidad de cada parcela tanto a lo largo como a lo ancho de las mismas.

Las condiciones de captura, serán las condiciones generales a campo. Esto implica una superficie de recorrido irregular, iluminación también irregular dependiendo no sólo de las condiciones climáticas sino también de la hora del recorrido y del tiempo en el que el mismo se desarrolle.

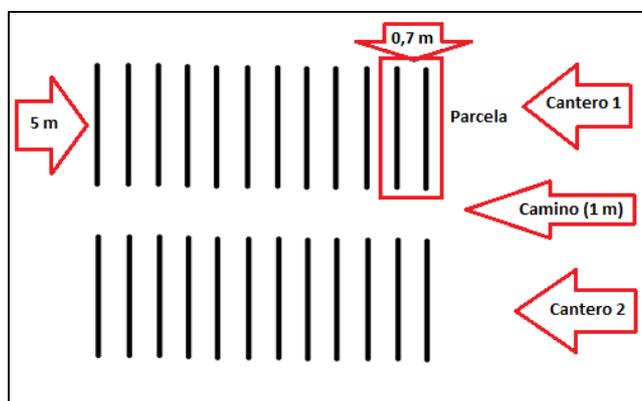


Fig. 2. Modelo de armado de los ensayos.

2.2 Información a relevar

La información a relevar con la plataforma comprende dos tipos de variables, las que corresponden a datos para el procesamiento de información referente a la calidad de los ensayos a campo, y las que redundan en información de características agronómicas propiamente dicha. En etapas tempranas del cultivo de maíz, estadíos en

los cuales se realizarán las determinaciones, se prevén dos tipos de evaluaciones. Uno sobre información de calidad de ensayos, y otro sobre información agronómica de los ensayos.

Para el primer caso se plantea el conteo de plantas establecidas en los estadios fenológicos V4-V6 según la escala de Ritchie y Hanway [15]. Para el mismo se procederá a realizar el conteo de plantas por parcela de ensayo (5 m de largo por 1.4 m de ancho, comprendiendo 2 hileras de maíz). Dicha información permitirá estimar el stand de plantas de cada parcela, que generará información sobre la calidad de los ensayos; las parcelas que serán consideradas para determinar su información agronómica deberán tener un stand con un 20 % máximo de variación de la media del ensayo. Esto reviste importancia agronómica debido a que el cultivo de maíz no posee capacidad de compensar la falta de plantas y por ello el rendimiento final de la parcela en los casos de muy bajo stand deberá ser descartado.

Para el segundo tipo, podemos hablar de tres problemáticas, (a) determinación del porcentaje de emergencia, (b) vigor inicial y, (c) índice de verdor (NDVI). Para (a) se realizará la relación entre la cantidad de semillas implantadas en cada parcela con las obtenidas en el estadio V1 [15], lo que determinará el nivel de germinación de cada parcela, y permitirá establecer la calidad de la semilla implantada así como la presencia de enfermedades y plagas que podrían afectar la calidad de los ensayos. Para el caso (b) se realizará la medición de biomasa (tamaño) en los estadios iniciales de implantación del cultivo (V1-V2) determinando en forma comparativa entre los genotipos evaluados en las diferentes parcelas el vigor inicial de los mismos. Mayor vigor inicial está asociado a una implantación del cultivo más rápida lo que redundará en un mayor aprovechamiento de los recursos (agua y nutrientes) y mejor competencia con malezas. Por último para el caso (c) se establecerá en los estadios V6-V8 de la escala de Ritchie y Hanway el índice de verdor medido mediante cámara infrarroja. Estos índices permiten estimar el vigor de las plantas, la biomasa de las mismas (indirectamente) y las radiaciones interceptadas en cada parcela, características que evaluadas posibilitarán estudiar su correlación con el rendimiento en granos final de cada parcela.

3. Módulo NRA

3.1 Sistema de navegación

El sistema de navegación se resuelve mediante un bastidor metálico con caño de hierro estructural a ser soportado y transportado por un Mini-Tractor Husqvarna LT1597. Un operador realizará el recorrido entre surcos a la velocidad mínima de manejo que permita la captura del cultivo mediante imagen digital.

Está previsto fijar el bastidor al chasis del tractor por medio de tornillos. A su vez, se fijarán al bastidor correderas metálicas de aluminio para la ubicación de las máquinas fotográficas en posiciones regulables.

El proyecto admite dos sistemas de medición simétricos e independientes (uno a

cada lado del tractor). Cada sistema independiente cuenta con 3 cámaras para la captura de las imágenes, donde dos de estas cámaras se utilizan para obtener las imágenes que luego se procesan en pos de las soluciones buscadas. Este sistema dual de sensores permite realizar el recorrido saltando caminos. Por ejemplo en la Fig. 3 muestra cómo se sensan en forma conjunta las parcelas 112 y 113, o 124 y 125.

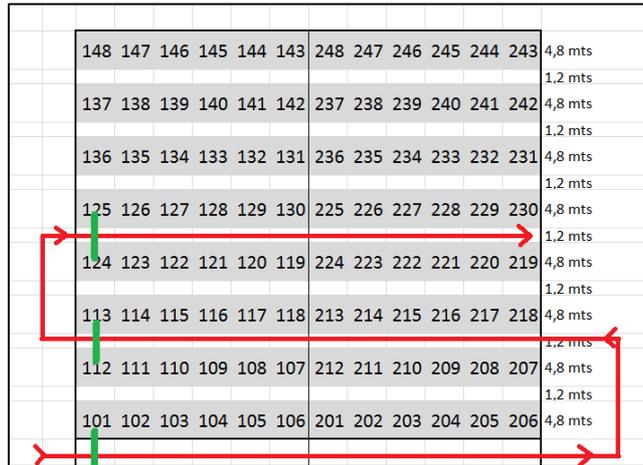


Fig. 3. Modelo de recorrido de la plataforma. En verde los momentos de sensado de imágenes.

La cámara de luz visible es una WebCam Genius WideCam 1050 con gran angular, con una resolución desde 640 por 480 hasta 1280 por 1024 píxeles (cámara 1). La otra es una cámara multiespectral Tetracam ADC Lite (cámara 2) la cual permite obtener una imagen con 3 bandas de frecuencia diferentes (Red, Green e IRC) con una resolución que va desde 1024 por 768 hasta 2048 por 1536 píxeles. La tercera cámara (cámara 3) se utiliza para captura de video que se procesa en línea para la detección de los surcos y la generación automática del disparo de las otras dos cámaras según corresponda. En este caso se trata de una webcam Genius Facecam 321 con resolución VGA, cuya captura de imagen es procesada en tiempo real en la búsqueda de la ubicación de los surcos a relevar.

El armado de la plataforma se define en base las características particulares del proceso de medición y sensado, el área que la misma deberá recorrer, y la disposición de los surcos que conforman las parcelas, cantidad y disposición de los diferentes sensores que participan del proceso.

Una de estas cámaras se ubica suspendida por sobre los surcos a 1,8 m de altura desde el piso y a aproximadamente a 2,5 m al lado de la plataforma (cámara 1). Esto permite la captura de los 5 m de ancho de los surcos con el objetivo de tomar una única imagen por parcela en cada recorrido. La segunda cámara es la multiespectral que se ubica también a 1,8 m de altura pero su distancia del tractor es de 1m (cámara 2)

El mini tractor también lleva una tercera cámara (la número 3) que captura el video para el procesamiento y la detección automática de los momentos de disparo de las otras dos cámaras (cámaras 1 y 2). Ésta cámara se dispone sobre un lateral, a una

altura del nivel del piso que permita enfocar siempre (en cualquier estadio) el suelo y los tallos. (Fig. 4). Este esquema se replica a ambos lados de la plataforma.



Fig. 4. 1) Cámara gran angular luz visible 2) Cámara multiespectral 3) Cámara luz visible para video 4) Unidad de control.

3.2 Sistema de Relevamiento de datos

En particular el sistema de relevamiento se sustenta sobre el recorrido y el uso de las cámaras que la plataforma involucra.

La idea del recorrido es que sea cubierto por la plataforma en movimiento continuo una vez que sea lanzada desde un punto de partida, que generalmente será el inicio de alguno de los ensayos. Si consideramos que la velocidad de avance del tractor es de 0 kms/h - 6,7 kms/h [16], en un cantero de 100 m, y estableciendo una velocidad mínima de 1 kms/h, tenemos 6 minutos para el recorrido de cada camino, y 5,5 segundos disponibles entre disparos (cada surco se encuentra a 0,7 m del siguiente y en consecuencia cada parcela está a 1,5 m de distancia de la siguiente). En una hora de tiempo puede cubrirse un total de 20 canteros por ensayo, dado que el sistema contempla el sensado a ambos lados de cada camino. Debe considerarse aparte el tiempo destinado al giro de la plataforma al finalizar cada camino.

3.2.1 Circuito de disparo

En la figura 5 se muestra la interconexión de todos los dispositivos intervinientes. La cámara 3 envía a la UNIDAD DE CONTROL (UC) un video para la identificación del punto de disparo de las otras cámaras. Este proceso se realiza en forma automática mediante la utilización de un algoritmo de tracking invertido [17]. Este algoritmo analiza en línea un set mínimo de frames del video capturado e identifica los surcos y el momento correspondiente al disparo. Una vez generada la señal de disparo desde la cámara 3, la UC genera el pulso de disparo para que las cámaras 1 y 2 generen la captura de las imágenes respectivas con la medición fenológica, las que serán almacenadas en la unidad de almacenamiento externo.

Las tres cámaras conectadas a la UC autónoma la cual, además de recibir y procesar el video de la cámara 3, se encarga de:

- Procesar y almacenar las imágenes de la cámara 1.
- Procesar y almacenar las imágenes de la cámara 2.
- Ofrecer una interfaz de usuario interactiva a través de una pantalla táctil.

Para la UC se utiliza un dispositivo RaspBerry Pi 3 Modelo B, con un procesador quad-core ARMv8 de 1.2GHz y 64-bit y una memoria RAM de 1GB.

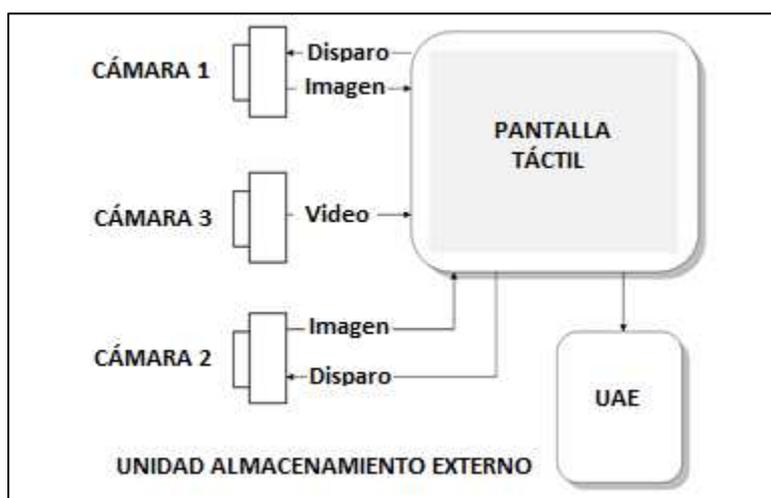


Fig. 5. Interconexión de dispositivos, circuito de disparo.

3.3 Sistema de Almacenamiento de datos

Como último sistema del NRA, se dispone de un sistema de almacenamiento externo (Fig. 5). Este sistema que se implementa con un dispositivo USB Storage o USB Flash Drive, es utilizado por la aplicación que corre sobre la UC para, por un lado generar las unidades de almacenamiento correspondientes a cada cámara utilizada y los archivos de control de las operaciones que se realizan en cada recorrido.

Cuando la aplicación indica la finalización del trabajo, las imágenes captadas por cada una de las cámaras se trasladan al dispositivo externo para ser utilizadas como datos de entrada por el Módulo PAE.

4. Módulo PAE

Este módulo en particular permite gestionar los datos que ingresan desde el módulo NRA, en los que se incluyen imágenes y archivos de control. Su implementación se

plantea para correr en un equipo PC de alto rendimiento, conectado a un dispositivo de storage de alta capacidad y recuperación.

Se encarga por un lado de la descarga de todos los archivos y su ubicación en áreas predeterminadas del dispositivo interno de almacenamiento que permitan agrupar los datos de acuerdo a características requeridas (parcelas, fechas, etc.). Y por otro lado de contener tanto los sistemas de Procesamiento digital y de Análisis y Evaluación, como los resultados obtenidos por ambos (Fig. 1).

4.1 Sistema de Procesamiento Digital de Datos

El sistema de procesamiento digital de datos consiste básicamente en un conjunto de librerías y algoritmos destinados a la resolución de las problemáticas planteadas.

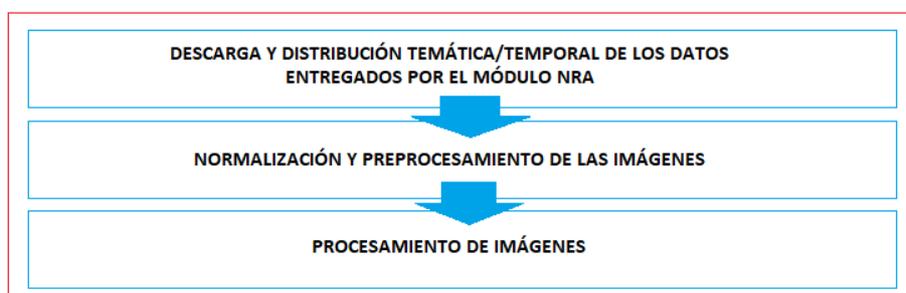


Fig. 6. Funcionalidades que integran el Sistema de Procesamiento Digital de datos

Tal como se observa en la figura anterior, existen diferentes pasos que deben cumplirse en el proceso general. Una vez que los datos fueron extraídos del dispositivo de almacenamiento externo luego de finalizado el recorrido implementado por el módulo NRA, y que los mismos fueron clasificados de acuerdo a alguna característica requerida por el operador del sistema, se ponen en funcionamiento los algoritmos destinados a la normalización y preprocesamiento de las imágenes. Ambos procesos son dependientes del sensor con el que se haya obtenido la imagen.

En particular las imágenes multiespectrales requieren un preprocesamiento diferenciado, que implica un proceso particular de calibración. Este proceso consiste en tomar una imagen de una etiqueta de calibración de teflón, en las mismas condiciones de iluminación de las imágenes objeto de estudio. Esta imagen se usa para conocer el balance espectral de la luz del sol del día de la toma de las imágenes. La proporción de R/IRc o V/IRc se aplica como compensación para el cálculo de los distintos índices de vegetación. Si no se toman las imágenes de calibración durante un espacio de tiempo relativamente corto, entre la toma de las imágenes de campo, el cálculo del índice de vegetación no será muy preciso. En consecuencia, la captura de la imagen de la placa de teflón debe tomarse en el mismo lugar donde se encuentra el ensayo, en el momento previo al inicio del recorrido de relevamiento, teniendo en cuenta que la placa debe ocupar la totalidad de la imagen, y no debe estar expuesta a la luz solar directa.

A diferencia de las imágenes capturadas por la cámara de luz visible, estas imágenes multiespectrales no requieren identificar los surcos de forma unívoca sino que una imagen de una parte de la parcela es suficiente para determinar el índice de verdor. Y en consecuencia, si bien las imágenes multiespectrales se registran como pertenecientes a cada parcela en particular, no se solapan con las imágenes de luz visible.

En el caso de las imágenes de luz visible, se aplican técnicas que permiten normalizar la iluminación de la imagen (debido a que las mismas se captan a diferentes horas del día y en diferentes condiciones lumínicas), quitar ruido, mejorar el contraste y modificar el esquema de color por defecto que utiliza el sensor (de RGB a HSI). Una vez que estas imágenes han sido preprocesadas con los algoritmos indicados, se aplica un proceso de registro mediante transformaciones geométricas que permiten asociar los surcos correspondientes a cada parcela dentro de un cantero particular.

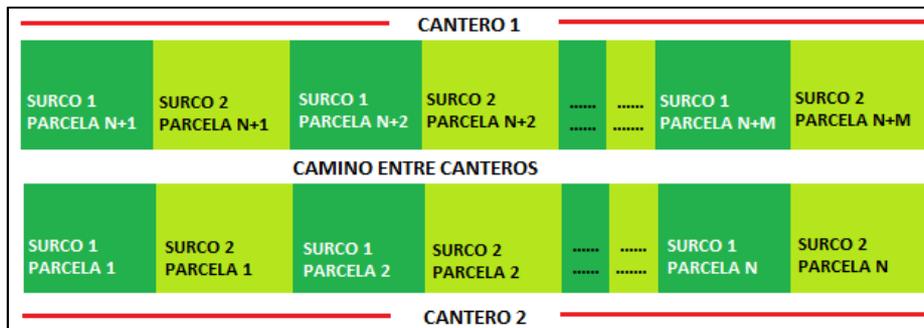


Fig. 7. Esquema de indicación de surcos por parcela, cantero y ensayo

En la Fig. 7 se muestra un esquema de etiquetado posible de un determinado ensayo. Supongamos un ensayo E , de n parcelas (en la figura $n=m$), y nc canteros. Se define una etiqueta válida como 250417-Exx-C1-P2, donde queda indicado que se trata de la parcela 2, del cantero 1, del ensayo xx de fecha 25 de abril del año 2017. De este modo tendremos tantas imágenes de la misma parcela, cantero y ensayo como relevamientos a campo se realicen para el mismo. Cada una de estas imágenes tendrá la misma condición técnica (resolución, tamaño, etc.), la misma escena (mismos surcos), pero objetos diferentes dado el nivel evolutivo del cultivo. Para poder procesar luego y comparar algunas de las condiciones requeridas es que se lleva a cabo el proceso de registración de surcos para cada nueva imagen que se obtenga.

El grado de solapamiento de las imágenes de parcelas no es relevante para el objetivo de su procesamiento. El algoritmo de tracking invertido [17] que se utiliza para determinar cuándo se realiza el disparo de la cámara de luz visible contempla la detección de los surcos y acciona el disparador tomando cada dos surcos (una parcela) y saltando uno. De esta forma las imágenes sensadas siempre captan el centro de cada parcela. El solapamiento que puede darse es mínimo y se genera en los bordes de la imagen, de modo que no aportan datos relevantes para el problema motivo por el cual no es tenido en cuenta.

Una vez completado el preprocesamiento, se pasa al procesamiento propiamente dicho. Este consiste de un conjunto de algoritmos implementados en base a los requerimientos de solución que los técnicos requieren. En general las técnicas que se aplican son de procesamiento digital de imágenes. Específicamente de binarización por color para determinar los objetos plantas, morfología matemática binaria para quitar el ruido resultante del proceso de binarización y segmentación basada en descriptores (forma, tamaño) para la identificación de los objetos. Además, la utilización de recorte por máscaras binarias para procesar la información de textura y color de cada objeto en particular, descriptores y reconocimiento de patrones para el análisis de datos, sumado a técnicas de base de datos, clusterización y datamining para la gestión de los volúmenes de datos generados.

Se ha trabajado en particular hasta ahora sobre tres de los problemas planteados por los especialistas, detallados en el punto 2.2 de este documento. Se desarrollaron algoritmos incluyendo las técnicas mencionadas para la determinación del porcentaje de emergencia, para el conteo de plantas establecidas y para el índice de verdor.

4.2 Sistema de Análisis y Evaluación de Resultados

Por último, el sistema de análisis y evaluación de resultados, es el encargado de volcar los resultados del procesamiento digital de los sets de imágenes de cada relevamiento a campo en formatos legibles para los operadores del módulo PAE. En principio, se establecen tres niveles de datos, (1) las imágenes originales captadas por los sensores (sin procesar), (2) las imágenes ya procesadas y, (3) los reportes de datos asociados a las mismas. En todos los casos los resultados se agrupan por ensayo, y luego por aplicación (por ejemplo, el conteo de plantas).

Un resultado directo de este módulo es la generación de un banco de imágenes de los estados fenológicos de un cultivo de maíz en particular desde que se siembra hasta que se cosecha.

5. Resultados

Por un lado, se ha diseñado y comenzado a trabajar sobre la estructura que soporta la plataforma (minitractor) sobre la que se disponen la UC y los sensores. Se ha desarrollado y probado la unidad móvil de control de sensores (Fig. 5). La unidad de control y gestión de todo este sistema a campo se administra con una interfaz simple desde la que puede iniciarse y pararse el proceso de sensado. (Fig. 8).

También se han probado las cámaras, tanto para la detección de puntos de disparo automáticos, como la recolección de imágenes de gran angular y para las imágenes multiespectrales. En el primer caso, el procesamiento digital aplicado al video en línea mediante tracking invertido de objetos, determinó buenos resultados con un 81% de disparos correctos y un 19% de disparos que se generan de más [17], por lo que podemos observar que no se pierden surcos.



Fig. 8. Raspberry utilizada como UC en pruebas en nuestro laboratorio, e interfaz de usuario.

Respecto de las imágenes de luz visible, sobre información de calidad de ensayos se han desarrollado los algoritmos para el stand de plantas (Fig. 9), y en relación a información agronómica de los ensayos, los algoritmos para la determinación del porcentaje de emergencia (Fig. 10). Para el caso del conteo de plantines en estadios iniciales, los resultados iniciales fueron buenos. El proceso de segmentación se basa en una técnica basada en características de color y en el análisis de los valores de reflectancia de las bandas del visible de acuerdo con la firma espectral del cultivo. De un muestreo de 60 imágenes en estadios V2/V3, donde se probaron diferentes alturas (0.5, 1, 1.5 y 1.8 m), un 95% del conteo automático fue correcto

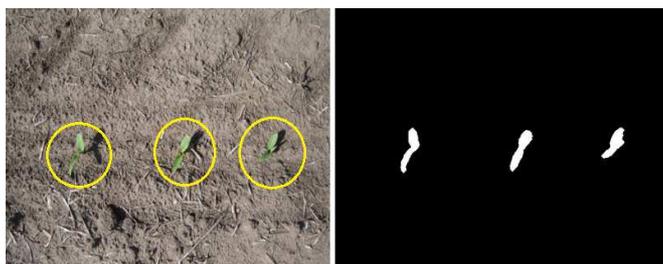


Fig. 9. Corrida algoritmo de conteo (altura: 1 m).



Fig. 10. Determinación del porcentaje de emergencia sobre 3 parcelas

En relación a la cámara multiespectral, las pruebas realizadas tanto a campo como en laboratorio, para el cálculo de NDVI, se hicieron también con un equipo Green Seeker NTech. Esto nos permitió validar el método propio que utiliza las bandas Red e IRC de la cámara Tetracam. Los resultados indicaron un margen de error en la

valoración del índice verde de un 0.7% en campo.

6. Conclusiones

Se plantea en este proyecto un aporte al problema de relevamiento de datos a campo, y su consecuente procesamiento, análisis, evaluación y transformación de esos datos a resultados efectivos para el estudio de parámetros biofísicos y fenológicos de cultivos de maíz que permitan mejorar sus niveles de producción y rendimiento.

La propuesta involucra el uso e integración de diferentes tipos de tecnologías para la automatización del proceso desde el inicio del ensayo mediante la implementación de los módulos RNA y PAE. El sistema integrado se basa en tres características relevantes. La primera es que los módulos pueden operar en forma paralela. La segunda es que se han desarrollado utilizando procesamiento digital de señales con bajo costo computacional en los casos posibles (resolución espacial y radiométrica mínima para procesamiento en línea, o segmentación basada en firma espectral y color, por ejemplo). Y la tercera es la frecuencia de sensado posible (diaria en 3 etapas -mañana/mediodía/tarde- como mínimo).

Todos estos aspectos juntos en una plataforma móvil adaptada para la captura de imágenes a campo de forma automatizada, en conjunto con su integración a un módulo automatizado de procesamiento digital específico constituyen una innovación en esta área de trabajo en el marco de la agricultura de precisión.

7. Trabajos futuros

Se postulan como trabajos futuros, en una primera etapa, completar la implementación actual de la plataforma con base en el minitractor, completar las interfaces de ambos módulos y los algoritmos propuestos como solución a las problemáticas planteadas como la determinación del área foliar y la floración masculina/femenina del maíz en estadios avanzados.

En una segunda etapa de este proyecto, se pretende diseñar una plataforma robótica (no tripulada) de sensado (en reemplazo del minitractor), que soporte la unidad de control de sensores y utilice un algoritmo de visión binocular para automatizar la navegación entre canteros, mediante el uso de nuevos algoritmos procesamiento de imagen y video.

Referencias

1. W. S. Lee, V. Alchanatis, C. Yang, M. Hirafuji, D. Moshou, and C. Li, "Sensing technologies for precision specialty crop production," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 74, no. 1,

pp. 2–33, 2010.

2. J. L. Araus and J. E. Cairns, “Field high-throughput phenotyping: The new crop breeding frontier,” *Trends Plant Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 52–61, 2014.

3. F. Liebisch, N. Kirchgessner, D. Schneider, A. Walter, and A. Hund, “Remote, aerial phenotyping of maize traits with a mobile multi-sensor approach,” *Plant Methods*, vol. 11, no. 1, p. 9, 2015.

4. G. P. Irujo, L. Laboranti, and M. Montoya, “UAV-based field phenotyping based on low-cost, open-source hardware and software,” pp. 224–225, 2016.

5. E. R. and J. L. Y. Wang, K. Lee, S. Cui, “Agriculture robot and applications,” in *Future information engineering and manufacturing science: proceedings of the 2014 International Conference on Future Information Engineering and Manufacturing Science (FIEMS 2014)*, 2015, pp. 43–46.

6. G. Breccia and G. Nestares, “Next-generation phenotyping in plants: old problems, new promises,” *BAG. J. basic Appl. Genet.*, vol. 25, no. 1, pp. 5–8, 2014.

7. A. I. De Castro, R. E. Plant, J. Six, and J. M. Peña, “Mapas de calendario de cultivo y variables fenológicas mediante el análisis de imágenes MODIS y ASTER basado en objetos,” *Rev. Teledetección*, vol. 0, no. 41, p. 29, Jun. 2014.

8. D. G. Marcovecchio, L. F. Costa, and C. A. Delrieux, “Ortomosaicos utilizando Imágenes Aéreas tomadas por Drones y su aplicación en la Agricultura de Precisión,” pp. 1–7, 2014.

9. J. A. J. Berni, P. J. Zarco-Tejada, L. Suárez, V. González-Dugo, and E. Fereres, “Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors,” *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, p. 14004, 2014.

10. S. Tisné *et al.*, “Phenoscope: an automated large-scale phenotyping platform offering high spatial homogeneity,” *Plant J.*, vol. 74, no. 3, pp. 534–544, May 2013.

11. J. M. Montes, F. Technow, B. S. Dhillon, F. Mauch, and A. E. Melchinger, “High-throughput non-destructive biomass determination during early plant development in maize under field conditions,” *F. Crop. Res.*, vol. 121, no. 2, pp. 268–273, 2011.

12. “LEMNATEC,” 2017. [Online]. Available: <http://www.lemnatec.com>. [Accessed: 14-Apr-2017].

13. L. Busemeyer *et al.*, “Precision phenotyping of biomass accumulation in triticale reveals temporal genetic patterns of regulation,” *Sci. Rep.*, vol. 3, no. 1, p. 2442, Dec. 2013.

14. J. W. White *et al.*, “Field-based phenomics for plant genetics research,” *F. Crop. Res.*, vol. 133, pp. 101–112, 2012.

15. S. W. Ritchie, J. J. Hanway, and G. O. Benson, “How a corn plant develops,” *Spec. Rep.*, vol. 48, p. 24, 1986.

16. “Husqvarna LT1597,” 2017. [Online]. Available: http://www.todohusqvarna.com.ar/minitractor-husqvarna-lt1597.html#.WWK_wVGvGpp. [Accessed: 14-Apr-2017].

17. E. Álvarez, S. Serafino, B. Cicerchia, A. Balmer. “Informe Técnico 1/2017”. Instituto en Investigación y Transferencia en Tecnología. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Bs. As. Junín, Bs. As., Argentina, 2017.