

EVALUACIÓN DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE SEMILLAS MEDIANTE PLACA DE IMPACTOS

EVALUATION OF IMPACT PLATE SEED DETECTION SYSTEM

Sebastián Rossi^a, Ignacio Rubio Scola^{a,b,c}, Gastón Bourges^{a,b} y Jorge J. Eliach^a

^a*Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Ocampo y Esmeralda, 2000 Rosario, Argentina,
irubio@inti.gob.ar, srossi@inti.gob.ar, gbourses@inti.gob.ar, jeliach@inti.gob.ar
<http://www.inti.gob.ar>*

^b*FCEIA - Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina,
irubio@fceia.unr.edu.ar, gbourses@fceia.unr.edu.ar, <https://web.fceia.unr.edu.ar/es/>*

^c*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET, <https://www.conicet.gov.ar/>*

Palabras clave: Detección de picos, dosificación de semillas, siembra de precisión, placa de impactos, cámara de alta velocidad.

Resumen. En el presente trabajo se realiza una evaluación del sistema de detección de paso de semillas mediante una placa de impacto, posicionada a la salida de un dosificador de semillas neumático para siembra de precisión. Se coloca un micrófono piezoeléctrico en contacto con la placa para sensar el impacto de semillas a partir de las vibraciones generadas. Se filma el impacto de semillas con una cámara de alta velocidad, con el fin de registrar el tiempo de cada impacto mediante inspección de los videos. Se realiza un experimento donde los factores evaluados son: la variedad de semilla, el material de la placa y el flujo temporal de semillas. Se evalúan diferentes métodos de detección de picos, programados en lenguaje Julia. Los tipos de errores evaluados son: semillas no detectadas y semillas múltiplemente detectadas. El objetivo de este trabajo es determinar el material óptimo para cada tipo de semilla y método de detección de picos más efectivo.

Keywords: Peak detection, seed metering, precision planting, impact plate, high speed camera.

Abstract. In the present work a system for seed passing detection, by means of an impact plate under delivery outlet of a precision seed meter, is evaluated. A piezoelectric microphone is attached to the plate, in order to sens plate vibrations originated by the seed impacts. Seed impacts are recorded with a high speed camera, so each impact time can be registered by visual inspection of each video. An experiment is carried out, where the factors evaluated are: seed type, plate material and seed delivered rate. Peak detection methods programed in Julia language are evaluated. The kind of errors evaluated are: not detected seeds and multiple detected seeds. The objective of this work is determine the optimal plate material for each kind of seed and the most effective peak detection method.

1. INTRODUCCIÓN

Según [Taylor et al. \(2001\)](#) el objetivo principal de la siembra es ubicar las semillas a una determinada distancia y profundidad en la cama de siembra. Para ello, las sembradoras de precisión ubican las semillas en los lugares requeridos, otorgando a cada semilla una adecuada superficie disponible. Las llamadas sembradoras de precisión, o plantadoras, permiten la ubicación con relativa exactitud de semillas equidistantes en el surco. Uno de los métodos más comunes de dosificación de precisión de semillas, es con el uso de platos circulares. Éstos contienen orificios o alvéolos, ubicados a una distancia determinada del centro del plato y equiespaciados entre sí, donde se colocan las semillas. El objetivo de los dosificadores de placas es que cada orificio sea ocupado por una sola semilla y, a medida que el plato gira, las mismas sean liberadas al surco desde un sector específico del mecanismo.

En cuanto a métodos de ensayo y evaluación para sembradoras monograno, la norma [ISO 7256-1](#), describe los conceptos de entregas múltiples, faltantes o pérdidas, aceptables y coeficiente de variación, representados con las letras D, M, A y C respectivamente. A partir de las ubicaciones ideales que deberían tener las semillas en el surco, separadas una distancia de referencia, considera un caso de semillas múltiples si el espaciamiento entre semillas consecutivas es inferior al cincuenta por ciento de la distancia de referencia, un caso de semilla perdida cuando la distancia entre semillas es superior al cincuenta por ciento por encima de la distancia de referencia y un caso aceptable cuando la distancia entre semillas se encuentra entre esos valores límites.

En canto a los métodos utilizados para la evaluación de desempeño de dosificadores de siembra, se puede mencionar el trabajo [Karayel et al. \(2006\)](#), donde se utiliza una cámara de alta velocidad de obturación para evaluar la uniformidad en el espaciamiento entre semillas, y su velocidad de caída. En [Bourges et al. \(2011\)](#) se realizaron ensayos sobre un dosificador neumático de presión positiva, utilizando semillas de soja. En las pruebas se utilizan una cámara de alta velocidad para estudiar las trayectorias de las semillas a lo largo del tubo de descarga. Estos datos se comparan con modelos numéricos de trayectorias de semillas. En trabajos posteriores, [Bourges et al. \(2012\)](#) y [Rossi et al. \(2020\)](#), se realizaron ensayos sobre un dosificador neumático por vacío, analizando las trayectorias a lo largo del tubo de descarga, utilizando filmación con cámara de alta velocidad.

En [Mangus et al. \(2017\)](#) se llevó a cabo un experimento donde se utilizó un sistema de adquisición de datos para medir velocidad de rotación del disco dosificador y paso de semillas con monitor de siembra comercial ubicado en tubos de descarga y además una cámara de alta velocidad filmando la zona de desprendimiento de semillas.

En el trabajo [Navid et al. \(2011\)](#) se realizó una evaluación de un sistema de detección de distancia entre semillas basado en procesamiento de imágenes. Los valores obtenidos del procesamiento de imágenes se compararon con las distancias medidas en cinta engrasada, obteniendo resultados similares a los de [Karayel et al. \(2006\)](#).

Por otra parte, en [Ozbek et al. \(2014\)](#) se utilizó una placa con un micrófono para evaluar los moretones en manzanas a partir de la señal del impacto entre manzana y placa. Para detectar el pico en la señal, utilizaron el cálculo de entropía de Shannon.

Para detección de picos en señales, también se puede mencionar las técnicas descritas en [Palshikar \(2009\)](#) donde se proponen diferentes señales auxiliares que representan los picos de la señal estudiada. En [Scholkmann et al. \(2012\)](#) se presenta un método de detección de picos que no requiere parámetros asociados a la naturaleza de la señal evaluada. Este último método es aplicable a señales periódicas o cuasi periódicas.

El presente trabajo tiene como objetivo la evaluación de un sistema de detección de paso de semillas mediante el uso de una placa de impacto con micrófono piezoeléctrico, considerando 3 materiales diferentes de placas y 4 métodos de detección por software.

2. PRUEBAS EXPLORATORIAS

En una primer etapa, se realizaron pruebas para conocer el comportamiento de diferentes materiales utilizados en el registro de impactos de semillas. Lo que se busca entre estos materiales es que, al recibir un impacto, produzca una vibración de alta intensidad, de manera que al sensar dicha vibración se tenga una buena relación señal a ruido. A su vez, se desea que dicha vibración se extinga rápidamente para poder reconocer dos impactos consecutivos cuya separación temporal es baja. Si la vibración perdura en el tiempo, el primer impacto enmascara al segundo.

Cada prueba realizada consistió en colocar una placa con un micrófono piezoeléctrico adherido con cinta bifaz a la salida de un tubo de descarga de semillas y soltar una semilla desde la altura del dosificador. Se registró la señal del piezoeléctrico en cada prueba con una placa de audio USB, con la ayuda del editor de audio Audacity¹ para la grabación. Cada prueba consistió en un único impacto de semilla.

2.1. Materiales evaluados

En la tabla 1 se listan los materiales junto con sus dimensiones. Se buscó que las medidas sean similares para todas las placas pero eso estuvo sujeto a la disponibilidad de los materiales.

Material	Dimensiones [mm]	Material	Dimensiones [mm]
Acero grueso	78 x 38 x 9	Fibra de vidrio	83 x 60 x 16
Fibra de vidrio 2	100 x 97 x 16	Acero fino	84 x 40 x 2
Hormigón celular (AAC)	90 x 70 x 23	Acrílico	83 x 60 x 3
MDF	83 x 60 x 18	AAC + acrílico	90 x 70 x 26

Tabla 1: Dimensiones de placas evaluadas.

Para amortiguar las vibraciones de la placa se evaluaron diferentes materiales que unen la placa evaluada con una chapa de acero más larga, y de 9 mm de espesor. Los casos evaluados se listan a continuación:

– Placa apoyada sobre goma espuma; – Placa adherida a una chapa de acero gruesa con masa arcillosa, comercialmente conocida como plastilina, cubriendo prácticamente toda la superficie inferior de la placa; – Placa adherida a una chapa de acero gruesa con plastilina, cubriendo solo el contorno de la placa; – Placa pegada a una chapa de acero gruesa con silicona neutra.

2.2. Selección de materiales para experimentación

De esta primer etapa basada en pruebas exploratorias se eligieron 3 materiales con sus respectivos métodos de amortiguamiento para ser evaluados en un experimento. A partir de los decaimientos y calidad de señal observados, se escogieron para la evaluación:

– Fibra de vidrio con plastilina en los bordes. Una de las mejores combinaciones observadas tanto en tiempo de decaimiento como en calidad de señal; – AAC + acrílico con plastilina en

¹Audacity software is copyright © 1999-2021 Audacity Team. It is free software distributed under the terms of the GNU General Public License.

los bordes. Una de las mejores combinaciones observadas en tiempo de decaimiento pero con baja intensidad de señal en los picos; – Acero fino con silicona neutra. Esta combinación no formó parte de las pruebas exploratorias pero se decide incluirlo en la experimentación por la sencillez y bajo costo en su fabricación.

3. EXPERIMENTO

Se llevó a cabo un experimento aleatorizado completo con 3 repeticiones por cada tratamiento para 3 tipos de semillas: soja, girasol y maíz chato. Los factores evaluados fueron el material de la placa de impacto, cuyos niveles son *fibra de vidrio*, *AAC + acrílico* y *acero*, y la velocidad de dosificación de semillas, considerando 2 niveles que dependen del tipo de semilla. Para maíz y girasol se dosificó a 6,5 y a 13,5 semillas por segundo. En el caso de la soja, fue a 33,3 y 66,7 semillas por segundo.

3.1. Equipos utilizados

Para llevar a cabo el experimento, se realizaron los ensayos en un banco de pruebas estático, haciendo funcionar el dosificador de siembra emulando condiciones normales de siembra. El dosificador que se empleó es de tipo neumático, energizado por un motor eléctrico. El motor cuenta con un sensor Hall cuya señal se utilizó para controlar su velocidad angular y se registró para corroborar la correcta velocidad de dosificación.

La presión de vacío dentro del dosificador se midió con un transmisor de presión Kimo CP110, configurado para medir de 0 a 100 mbar y con salida en tensión de 0 a 10V. A la salida del dosificador se colocó un arreglo de 5 sensores infrarrojos alineados. Similarmente, a la salida del tubo de descarga, se colocó un marco con un arreglo de 7 sensores infrarrojos alineados y, por debajo, se ubicó la placa de impactos con el sensor piezoeléctrico adherido. Se filmaron los ensayos con una cámara de alta velocidad Fastec TS5-S. Para estos ensayos se filmó a 500 cuadros por segundo, con una profundidad de color de 8 bits y una resolución de 800×600 píxeles. Con esta configuración, el máximo tiempo de filmación es de 17,146 segundos. La cámara cuenta con un conector para acceder a señales de entrada y salida. Una de estas señales es la de *Sync Out*, que emite un pulso por cada cuadro capturado. Se registró esta señal para vincular la base de tiempo de la cámara con la base de tiempo del adquisidor de datos.

Se registraron las señales eléctricas con un equipo adquisidor de datos HBM QuantumX MX1615B, que cuenta con 16 canales y se configuraron para medir tensión. Las señales registradas fueron las de los fototransistores infrarrojos a la salida del dosificador y a la salida del tubo de descarga, el transmisor de presión, el sensor Hall del motor, el micrófono piezoeléctrico de la placa de impactos y la señal “Sync Out” de la cámara.

3.2. Procedimiento de ensayo

Cada tratamiento del experimento consistió en hacer funcionar al dosificador de siembra en condiciones normales de funcionamiento montado en un banco de pruebas estático, durante un lapso de tiempo, de manera tal que la filmación incluya desde la primer semilla dosificada hasta la última. En este experimento se pretendió evaluar tanto el sensado por placa como el sensado con fototransistores infrarrojos a la salida del tubo. Por ello, se ubicó la cámara a una distancia de aproximadamente 1,5 m de distancia para capturar la zona de medición. La serie de pasos seguidos para concluir cada ensayo se lista a continuación.

– Se agregan semillas en la tolva si es necesario; – Se pone a girar el disco dosificador a la velocidad angular correspondiente a la velocidad de cada ensayo; – Se inicia el registro del

adquisidor de datos; – Se inicia la grabación con la cámara; – Se enciende la bomba de vacío para que comience la dosificación de semillas; – Cuando se está por llenar la memoria de la cámara, se detiene el giro del disco dosificador, cortando abruptamente la entrega de semillas; – Se detiene la grabación con la cámara; – Se detiene el registro del adquisidor de datos; – Se apaga la bomba de vacío; – Se guardan el video y los datos en unidades de almacenamiento.

4. INSPECCIÓN VISUAL DE VIDEOS

Cada video se recorrió, cuadro por cuadro, anotando en una planilla de cálculo el número de cuadro en que cada semilla pasó a través del marco con sensores infrarrojos en una columna y en el cual impactó contra la placa en otra. Además, en una tercer columna se registraron los casos en que una semilla vuelve a impactar la placa y observaciones, tales como semillas que no impactan la placa.

5. ALGORITMOS DE DETECCIÓN DE IMPACTOS A PARTIR DE LA SEÑAL DEL SENSOR PIEZOELÉCTRICO

El procesamiento de la señal se divide en 4 etapas: filtrado, pre-proceso, detección de impactos y filtro de doubles piques.

5.1. Filtrado

Para llevar a cabo el filtrado, se aplica un filtro tipo Butterworth pasa banda entre 1kHz y 5kHz de orden 3 para eliminar componente continua y ruido de línea en bajas frecuencias y ruido de alta frecuencia. En el rango de frecuencias de paso se encuentra la frecuencia natural de vibración de las placas en estudio.

5.2. Pre-proceso

Previo a ejecutar los algoritmos de detección de picos, se considera modificar la señal filtrada mediante funciones y transformaciones. Las 3 opciones evaluadas son: sin pre-proceso, pasándole al algoritmo la señal original, aplicando el valor absoluto o aplicando el módulo de la transformada de Hilbert de la señal.

5.3. Métodos de detección de picos

Los algoritmos evaluados en esta etapa se programaron en Julia y se describen a continuación:

5.3.1. Simple Algorithms for Peak Detection in Time-Series

En [Palshikar \(2009\)](#) se propone la creación de una señal auxiliar. Se espera que esta señal tenga valores altos donde ocurrió un pico. Finalmente, se registran los picos a partir de dichos valores altos encontrados en la señal auxiliar. Los autores proponen 4 métodos de creación de la señal, a la que llaman S.

Sea $T = x_1, x_2, \dots, x_N$ la serie temporal de la señal del piezoeléctrico uniformemente muestreada. Sea x_i el i -ésimo punto de T. Los autores proponen el cálculo de la señal S sobre una ventana de ancho $2k + 1$, $k \in \mathbb{N}$ centrada en x_i .

El primer método, busca la mayor diferencia entre x_i y los valores a cada lado de la ventana y los promedia. La fórmula se presenta en la ecuación (1).

$$\mathbf{S}_1(i, k, T) = \frac{1}{2} (\text{máx}\{x_i - x_{i-1}, x_i - x_{i-2}, \dots, x_i - x_{i-k}\} + \text{máx}\{x_i - x_{i+1}, x_i - x_{i+2}, \dots, x_i - x_{i+k}\}) \quad (1)$$

El segundo, promedia las diferencias entre x_i y los valores hacia un lado de la ventana y hacia el otro, para finalmente promediar esos dos valores. La ecuación (2) presenta la fórmula para el cálculo de \mathbf{S}_2 .

$$\mathbf{S}_2(i, k, T) = \frac{1}{2} \left(\frac{x_i - x_{i-1} + x_i - x_{i-2} + \dots + x_i - x_{i-k}}{k} + \frac{x_i - x_{i+1} + x_i - x_{i+2} + \dots + x_i - x_{i+k}}{k} \right) \quad (2)$$

El tercero, presenta una variación a la segunda, basado en la diferencia entre el punto x_i y el promedio de los puntos hacia un lado de la ventana. El cálculo de \mathbf{S}_3 se presenta en la ecuación (3).

$$\mathbf{S}_3(i, k, T) = \frac{1}{2} \left(x_i - \frac{x_{i-1} + x_{i-2} + \dots + x_{i-N}}{k} \right) + \left(x_i - \frac{x_{i+1} + x_{i+2} + \dots + x_{i+N}}{k} \right) \quad (3)$$

El cuarto, se basa en el cálculo de la entropía. Calcula la diferencia de la entropía de la ventana alrededor de x_i y la entropía de ambos lados de la ventana concatenados, sin incluir el punto central x_i . Para ello, define:

$$\mathbf{N}^+(i, k, T) = \{x_{i+1}, x_{i+2}, \dots, x_{i+k}\}, \quad \mathbf{N}^-(i, k, T) = \{x_{i-k}, x_{i-k+1}, \dots, x_{i-1}\}, \\ \mathbf{N}(i, k, T) = \mathbf{N}^-(i, k, T) \bullet \mathbf{N}^+(i, k, T), \quad \mathbf{N}'(i, k, T) = \mathbf{N}^-(i, k, T) \bullet x_i \bullet \mathbf{N}^+(i, k, T),$$

siendo el símbolo \bullet la concatenación de las series temporales. Para una secuencia $A = \{a_1, a_2, \dots, a_M\}$ de M valores, define la entropía \mathbf{H} como

$$\mathbf{H}_w(A) = \sum_{i=1}^M [-p_w(a_i) \log(p_w(a_i))] \quad (4)$$

donde $p_w(a_i)$ es una estimación de la función de densidad de probabilidad en el punto a_i y w el ancho de ventana utilizado para realizar la estimación de $p_w(a_i)$. Dicha estimación se puede hacer con la técnica de densidad de núcleo [Wand y Jones \(1994\)](#),

$$p_w(a_i) = \frac{1}{M|a_i - a_{i+w}|} \sum_{j=1}^M K \left[\frac{a_i - a_j}{|a_i - a_{i+w}|} \right], \quad K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (5)$$

donde K es una función núcleo de tipo Gaussiana. Finalmente, la señal que representa los picos se calcula como

$$\mathbf{S}_4(i, k, T, w) = H_w(\mathbf{N}(i, k, T)) - H_w(\mathbf{N}'(i, k, T)) \quad (6)$$

Luego, para extraer los picos de la señal \mathbf{S} , se buscan los puntos que superan un umbral y se eliminan los valores cercanos, dentro de la ventana $2k + 1$, sobreviviendo el valor de mayor amplitud. En este trabajo se incluyó un factor para modificar el ancho de ventana considerado para eliminar putos vecinos.

5.3.2. Automatic Multiscale Peak Detection

Este método presentado en [Scholkman et al. \(2012\)](#) está propuesto para detectar picos periódicos o cuasi-periódicos en una serie temporal uniformemente muestreada $x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$. En algunos casos, los impactos en placa no cumplen con la condición de cuasi-periodicidad, pero se incluyó en la evaluación ya que no requiere parámetros de configuración.

Los autores de este método proponen el cálculo de una matriz a la que llaman escalograma de máximos locales. El elemento de la matriz en la k -ésima fila y la i -ésima columna se calcula como

$$m_{k,i} = \{0\} \text{ para } \{x_{i-1} > x_{i-k-1} \wedge x_{i-1} > x_{i+k-1}\} \text{ y } \{r + \alpha \text{ para cualquier otro caso}\} \quad (7)$$

donde r es un número aleatorio con distribución de probabilidad uniforme en $[0, 1]$, α es un valor constante, $k = 1, 2, \dots, \lceil N/2 \rceil - 1$ representa la escala e $i = k + 2, \dots, N - k + 1$ es el índice que recorre la señal temporal.

El siguiente paso consiste en sumar los elementos de cada fila. Para ello define el vector γ donde el k -ésimo elemento del vector es

$$\gamma_k = \sum_{i=1}^N m_{k,i} \text{ para } k \in \{1, 2, \dots, \lceil N/2 \rceil - 1\} \quad (8)$$

El índice correspondiente al mínimo valor del vector γ , $\lambda = \text{argmin}(\gamma)$, representa la escala con mayor ocurrencia de máximos locales. Con este valor, se crea una matriz reducida de M como $M_r = (m_{k,i})$, para $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ y $k \in \{1, 2, \dots, \lambda\}$.

Sobre cada columna de la matriz M_r se calcula el desvío estándar,

$$\sigma_i = \frac{1}{\lambda - 1} \sum_{k=1}^{\lambda} \left[\left(m_{k,i} - \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^{\lambda} m_{k,i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Finalmente, los índices i para los cuales $\sigma_i = 0$ representan los índices de la señal x donde se detectaron picos.

5.3.3. Detección basada en la entropía de Shannon

Este método, presentado en [Ozbek et al. \(2014\)](#), se basa en la definición de entropía de Shannon, según la ecuación (10). Para una variable aleatoria continua X y para una función de densidad de probabilidad $p(x)$ se tiene

$$H(x) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log(p(x)) dx \quad (10)$$

Para la estimación de la función de densidad de probabilidad de X , los autores proponen la estimación de densidad por núcleos descripta en [Silverman \(1986\)](#). A partir de una muestra $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ de la variable X se calcula una estimación de densidad como

$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_h(x - x_i), \quad \psi_h(u) = \mathcal{N}(u; 0, h^2) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2h^2}} \quad (11)$$

donde $\psi_h(\cdot)$ representa la función núcleo y $\mathcal{N}(u; \mu, \sigma^2)$ una función de distribución Gaussiana con $\mu = 0$ y $\sigma = h$. Comparando con el método descrito en [Ozbek et al. \(2014\)](#), la función $K(x)$ de la ecuación (5) representa el caso particular de la función $\psi_h(u)$ para el que $h = 1$. En este caso, se adopta $h = 1,06\hat{\sigma}_x N^{-0,2}$, siendo $\hat{\sigma}_x$ la estimación del desvío estándar de la señal a procesar y N el número de muestras. Para el cálculo de la entropía a partir de la función Gaussiana de estimación $f(x)$, en [Thomas y Joy \(2006\)](#) se define la entropía diferencial y su aproximación numérica como

$$\hat{H}(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \log(f(x)) dx \approx - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \log(f(x_j)) \quad (12)$$

y reemplazando $f(x)$ por la ecuación (11),

$$\hat{H}(X) \approx - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_h(x_j - x_i) \right) \quad (13)$$

Para la detección de impactos de semillas, se realiza el cálculo de la ecuación (13) en una ventana de la señal del sensor y se va corriendo la ventana muestra a muestra. Con esto se crea el vector Sx , donde el i -ésimo elemento del vector es

$$Sx_i = \hat{H}(xw_i), \quad i \in \{1, 2, \dots, N - ws\} \quad (14)$$

donde $xw_i = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+ws}\}$ es una ventana de la señal del sensor x , N es la longitud de x y ws es el ancho de la ventana expresado en cantidad de muestras.

Luego, para determinar la ocurrencia de cada pique, se utiliza el paquete [Peaks.jl](#) para Julia. Con la función [findmaxima\(Sx, wp\)](#) se obtienen los índices donde se encuentran los máximos locales en una ventana que recorre Sx de ancho $2wp$. Finalmente, se seleccionan los picos detectados para los cuales Sx supera un umbral. Opcionalmente, se puede aplicar la función [peakproms](#) que calcula la *prominencia* de cada pico, es decir la menor diferencia entre el valor del pico y cada uno de sus dos mínimos locales vecinos, y se seleccionan los picos cuya prominencia supera un umbral.

5.3.4. Método de umbral variable desarrollado en INTI

Este método busca la aparición de un pico comparando la señal con un umbral de referencia. Cuando la amplitud de la señal supera el umbral se considera la aparición de un pico. En la figura 1 se muestra un ejemplo gráfico del método donde, en azul se puede ver el valor absoluto de la señal del sensor, en naranja, el umbral variable, los puntos rojos representan los picos detectados por el método y los verdes corresponden a tiempos registrados manualmente mediante la inspección visual del video. El umbral se mantiene por encima de un valor mínimo, indicado en la figura con la letra A. Cuando la señal supera el umbral, se considera que apareció un pico. En ese instante, se registra el índice como un instante de impacto detectado y se actualiza el valor del umbral (B), asumiendo un factor mayor a 1 que multiplica al máximo valor de la señal (C) en una ventana comprendida entre el inicio del pico y una cantidad de muestras futuras que se especifica al llamar al método (D). Este umbral se mantiene durante una cantidad de muestras también especificadas como parámetro del método (E) y luego desciende exponencialmente hasta alcanzar el valor mínimo A. En cualquier instante en que la señal supere al umbral, se registra un nuevo pico y se actualiza nuevamente el valor del umbral.

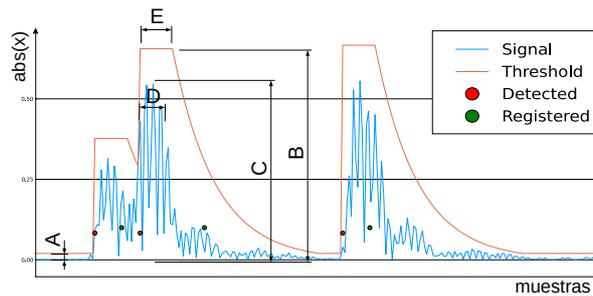


Figura 1: Ejemplo de detección de picos con umbral variable.

6. ERRORES

Los errores en la detección de paso de semillas mediante placa de impacto tienen diferentes causas. Una de ellas es de origen mecánico, debido a cuestiones geométricas. Algunas semillas impactan más de una vez sobre la placa y otras esquivan la placa y no impactan. Estos errores se contabilizaron en el registro manual mediante inspección de los videos. Otra causa de error se debe a la calidad del sensado combinada con el método de detección. Es esta última la que se evalúa en el presente trabajo.

Las semillas que no son esféricas, como el maíz y el girasol, pueden realizar un doble pique sobre la placa. Esto se da cuando impactan con un extremo y luego con el otro. Esto ocurre en un corto lapso de tiempo y no se registró en la inspección visual. Algunos de estos *dobles piques* se detectan por los métodos de procesamiento como si fueran dos semillas diferentes.

El fenómeno de *doble pique* de semillas alargadas no se puede evitar con el uso de placa de impacto y es por eso que a los métodos de detección se les agrega un filtro que elimina una detección si el tiempo transcurrido desde la detección anterior es inferior a un valor determinado.

Al aplicar este filtro, inevitablemente se eliminan impactos de semillas que ocurren con una separación temporal respecto a la anterior por debajo del valor definido para el filtrado.

6.1. Correspondencia entre impactos registrados manualmente y los detectados por software

En cada ensayo, se buscó la correspondencia entre cada impacto detectado por software y cada impacto registrado manualmente, incluso los múltiples piques de semillas. Luego, se contaron los impactos que por software no se detectaron y las detecciones *extras* que no se corresponden con ningún impacto del registro manual. Para las detecciones *extras*, se registraron las diferencias de tiempos entre éstas y sus respectivas detecciones anteriores.

En el caso del método “Automatic Multiscale Peak Detection”, no se obtuvieron buenos resultados en ningún ensayo. En la publicación del método se aclara que es para señales periódicas o cuasi periódicas y en nuestro caso, las apariciones de dobles impactos o semillas perdidas hacen que la señal no cumpla este requisito. En el análisis de resultados, no se tiene en cuenta este método.

6.2. Filtrado de doble pique

Para poder determinar el valor del tiempo de filtrado, se graficaron histogramas, como el mostrado en la figura 2. En color rojizo se presenta el histograma de las diferencias temporales de los registros manuales de todos los ensayos cuyos factores *tipo de semilla* y *velocidad* son

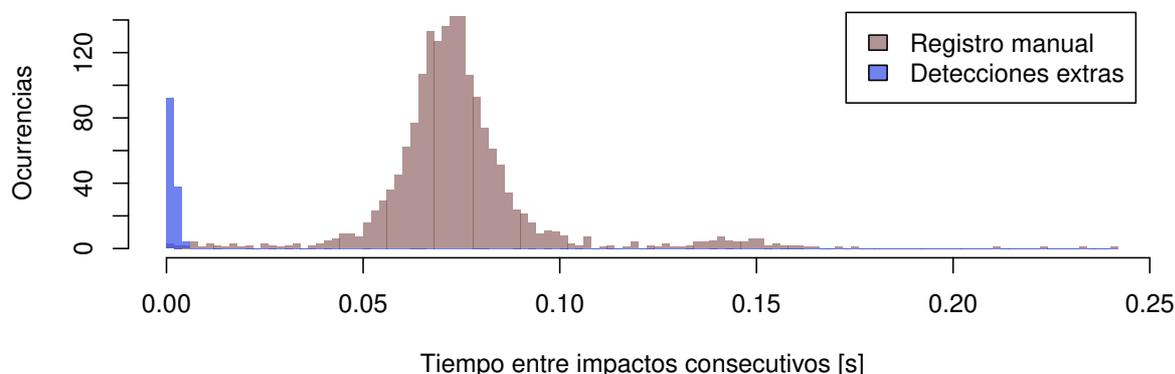


Figura 2: Ocurrencia de tiempos entre semillas consecutivas registrados manualmente y detecciones extra con método basado en Shannon entropy. Semillas de maiz a 6 km/h. Ancho de barras: 0,002 segundos.

Semillas	Maíz			Girasol		
Método	Entropía	Simple	INTI	Entropía	Simple	INTI
Tiempo [s]	0,01	0,006	0,01	0,006	0,006	0,006

Tabla 2: Valores de tiempos escogidos para filtrar dobles piques.

iguales. En color azul, se tienen las diferencias temporales de los piques extras. El caso del ejemplo corresponde a semillas de girasol sembradas a una velocidad equivalente a 12 km/h y los piques extra son los detectados con el método INTI con la placa de fibra de vidrio. En estas gráficas, se puede ver el solapamiento entre las diferencias temporales que corresponden efectivamente a pares de semillas y las detecciones erróneas por los métodos de detección. Basado en estas gráficas se eligieron los valores de tiempo de filtrado de doble pique para cada material y cada método de detección para semillas de girasol y maíz. Dichos valores se presentan en la tabla 2. En el caso de semillas de soja, no se aplica el filtro ya que un doble pique es poco probable, debido a que las semillas son casi esféricas y además, dada la mayor densidad de siembra, los pares de semillas próximas en el tiempo son más frecuentes.

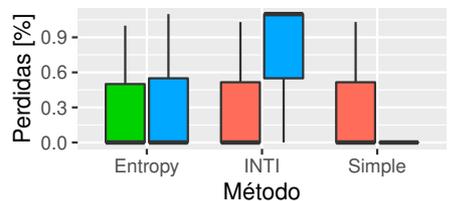
6.3. Errores en detección por software

Una vez aplicado el filtro de doble pique, se calcularon los porcentajes de piques no detectados y el porcentaje de detecciones extra que no se corresponden con ningún impacto. Entre las semillas no detectadas se encuentran las filtradas por el filtro de doble pique. Para visualizar esos errores, se crearon las gráficas tipo boxplot mostradas en las figuras 3 y 4.

Algunas combinaciones de material - método de detección arrojaron errores demasiado grandes. Para poder apreciar mejor las gráficas con los resultados útiles, se quitaron dichas combinaciones. En el caso de maíz se descartaron la *fibra de vidrio* con el método *Simple*, el *hormigón celular* con el método *Entropía* y el *acero* con el método *INTI*. Para el girasol, se descartaron la *fibra de vidrio* con los métodos *INTI* y *Simple* y el *hormigón celular* con el método *Simple*. Finalmente, para la soja se descartaron el *acero* con todos los métodos, todos los materiales con

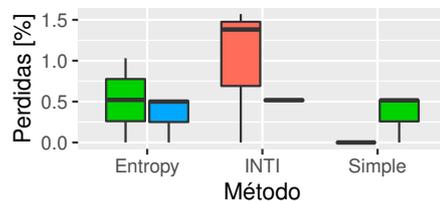
el método *Simple* y el *hormigón celular* con el método *Entropía*.

7. RESULTADOS



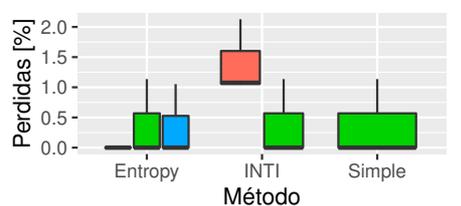
Material: AAC acero fibra

(a) A 6 km/h.



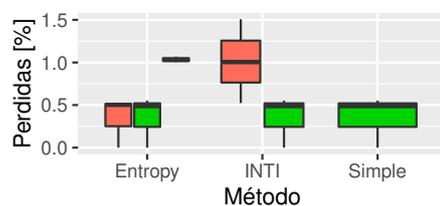
Material: AAC acero fibra

(b) A 12 km/h.



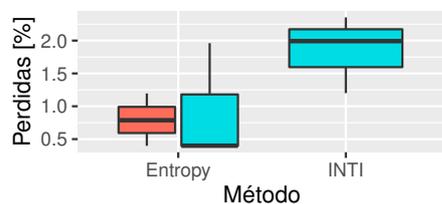
Material: AAC acero fibra

(c) A 6 km/h.



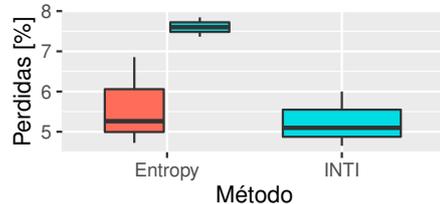
Material: AAC acero fibra

(d) A 12 km/h.



Material: AAC fibra

(e) A 6 km/h.



Material: AAC fibra

(f) A 12 km/h.

Figura 3: Combinaciones de métodos y materiales con errores aceptables. Porcentaje de semillas no detectadas. (a) y (b) Semillas de maíz, (c) y (d) semillas de Girasol, (e) y (f) semillas de Soja.

De la selección de combinaciones de material y método de selección, se puede observar que las semillas no detectadas para maíz y girasol se mantuvieron por debajo del 1 %, salvo el caso del AAC con el método de detección INTI, que da algunos valores entre 1 y 2 %. En el caso de la soja, hay una gran diferencia de los errores entre una velocidad de dosificación y otra. Para una dosificación equivalente a 6 km/h, se pierde hasta un 2 % de los impactos, mientras que para 12 km/h, el error está entre un 5 y un 8 %.

Por otro lado, las múltiples detecciones de un único impacto, se mantuvieron por debajo del 2 % en la mayoría de las combinaciones graficadas en maíz y girasol. En el caso de la soja, los errores son más bajos. Esto puede deberse a la forma de las semillas, que prácticamente no genera dobles piques.

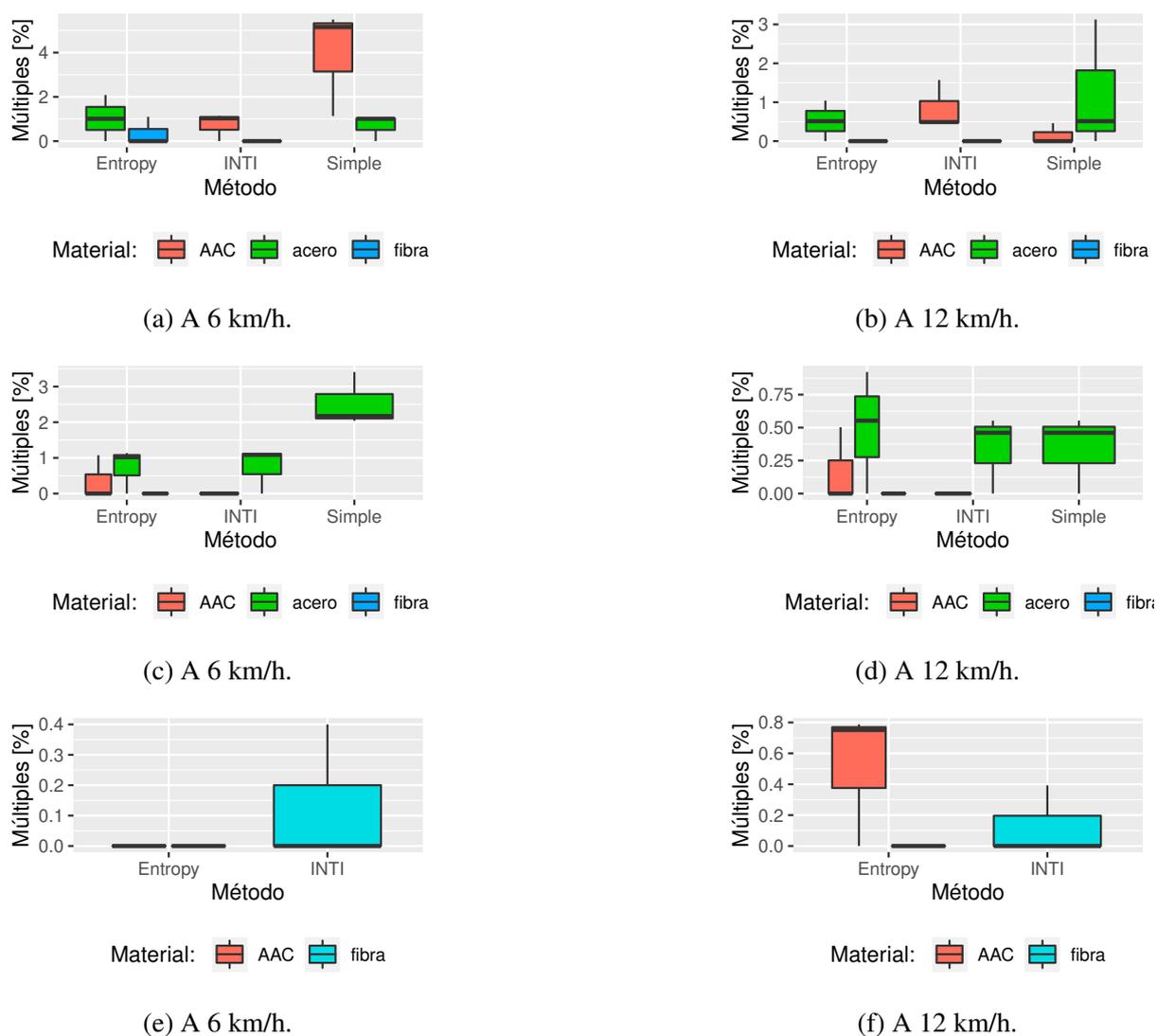


Figura 4: Combinaciones de métodos y materiales con errores aceptables. Porcentaje de detecciones que no corresponden a impactos reales. (a) y (b) Semillas de maíz, (c) y (d) semillas de Girasol, (e) y (f) semillas de Soja.

Las mejores combinaciones de materiales y métodos de detección encontrados fueron: para maíz, *fibra d vidrio* con métodos *Entropía* e *INTI*; para girasol, *acero* con método *INTI*; para soja, *fibra de vidrio* con método *INTI*.

8. CONCLUSIONES

Los errores de detección evaluados en el experimento que se presenta en este trabajo, corresponden a un dosificador de precisión funcionando en condiciones normales de trabajo.

El hecho de que el sistema de detección por placa de impacto no pueda discriminar dos semillas que lleguen a la placa muy próximas en el tiempo, hace que el indicador de *dobles* (D) no sea confiable. Esto se puede observar en la figura 3. A medida que aumenta la tasa de semillas por unidad de tiempo, los errores de semillas no detectadas aumentan. Se requiere otro método adicional para acotar el error de semillas no detectadas en dosificaciones con altos índices de dobles.

Se esperaba que la placa de acero con silicona presente los mayores errores relativos de impactos no detectados, ya que la señal de cada impacto tarda más en extinguirse. Sin embargo, mostró un buen desempeño para baja tasa de semillas por unidad de tiempo, en este caso, semillas de maíz y girasol.

En este mismo experimento se colocó un arreglo de sensores infrarrojos entre la salida del tubo de descarga de semillas y la placa de impacto. A futuro, se trabajará en la programación de métodos de detección que combinen las señales de ambos sensores para determinar el instante de paso de cada semilla.

Otro trabajo pendiente es el de la búsqueda de materiales amortiguantes, similares a la plastilina, pero que permitan la construcción de un sensor útil para medición en sembradora.

REFERENCIAS

- Bourges G., Nardón G., y Medina M. Evaluation of seed trajectories in a pneumatic dosage system. En *XXXIV CIOSTA CIGR V Conference*. BOKU, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria, 2011.
- Bourges G., Nardón G., y Medina M. Laboratory study of the operation of a monograin vacuum metering system. 2012.
- ISO 7256-1. Sowing equipment — Test methods — Part 1: Single seed drills (precision drills). Standard, International Organization for Standardization, 1984.
- Karayel D., Wiesehoff M., Özmerzi A., y Müller J. Laboratory measurement of seed drill seed spacing and velocity of fall of seed using high-speed camera system. *Computers and electronics in agriculture*, 50(2):89–96, 2006.
- Mangus D., Sharda A., Flippo D., Strasser R., y Griffin T. Development of high-speed camera hardware and software package to evaluate real-time electric seed meter accuracy of a variable rate planter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142:314—325, 2017.
- Navid H., Ebrahimian S., Gassemzadeh H., y Mousavi nia M. Laboratory evaluation of seed metering device using image processing method. volumen 2(1), páginas 1–4. 2011.
- Ozbek I.Y., Boydas M.G., Kara M., y Demir B. Low cost measurement setup based on a piezoelectric microphone for estimating apple bruising using shannon entropy. *Postharvest Biology and Technology*, 98:23–29, 2014. doi:10.1016/j.postharvbio.2014.06.014.
- Palshikar G.K. Simple algorithms for peak detection in time-series. En *1st Int. Conf. Advanced Data Analysis, Business Analytics and Intelligence*, volumen 122. 2009.
- Rossi S., Rubio Scola I., Eliach J., y Bourges G. Evaluación de desempeño de dosificador monograno mediante filmación y procesamiento de imágenes. En *XII CAIM*. San Nicolás de los Arroyos, Argentina, 2020.
- Scholkmann F., Boss J., y Wolf M. An efficient algorithm for automatic peak detection in noisy periodic and quasi-periodic signals. *Algorithms*, 5(4):588–603, 2012. doi:10.3390/a5040588.
- Silverman B. *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman & Hall, 1986. doi:10.1007/978-1-4899-3324-9.
- Taylor R., Schrock M., y Staggenborg S. Using gps technology to assist machinery management decisions. 2001.
- Thomas M. y Joy A.T. *Elements of information theory*. Wiley-Interscience, 2006.
- Wand M.P. y Jones M.C. *Kernel smoothing*. CRC press, 1994.