

Adecuación del software Labras en la planificación de la preparación del suelo para caña de azúcar



<https://cu-id.com/2177/v32n2e03>

Adequacy of Labras Software in Planning the Preparation of the Soil for Sugarcane

¹Yoel Betancourt-Rodríguez^{1*}, ¹Darién Alonso-Camacho¹,
¹Jorge Luis Ponce-Salazar¹, ¹Liván Amado Villavicencio-Ramírez¹

¹Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Villa Clara (INICA-Villa Clara), Ranchuelo, Villa Clara.

¹Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV), Cuba.

RESUMEN: El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar trabajó en el desarrollo del software (SW) LabraS especializada en la planificación de los procesos de labranza del suelo. Evaluar la adecuación funcional del software LabraS en la planificación de la preparación sostenible del suelo para el cultivo de caña de azúcar es el objetivo de esta investigación. El trabajo se desarrolló en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Héctor Rodríguez, del Grupo Azucarero AZCUBA. La evaluación comprendió la campaña de preparación de suelo 2020-2021, con 2 619,2 ha, concentrado en 57 bloques dedicados a caña. Las condiciones de investigación se caracterizaron por ser complejas, con un predominio de las áreas con mal drenaje (57%), de los suelos de textura media y pesada (89%) y de los barbechos o campos de caña de muy bajo rendimiento agrícola sin cosechar (67%). Los resultados mostraron una adecuada selección de las alternativas tecnológicas, sus variantes operacionales y labores por condición de manejo. Además, aplicación correcta de los criterios ISMACE (Integración de los conocimientos del suelo, la maquinaria, el cultivo con el entorno de trabajo) en el algoritmo del software LabraS, por seleccionar las tecnologías con mejor impacto tecnológico, económico, energético y ambiental, lo que demostró en general resultados satisfactorios en la validación de la adecuación funcional para la planificación de la preparación sostenible del suelo.

Palabras clave: Complejidad funcional, corrección funcional, pertinencia funcional, pruebas de software, planeación agrícola.

ABSTRACT: The Sugarcane Research Institute worked on the development of the software (SW) LabraS specialized in the planning of soil tillage processes. Evaluating the functional adequacy of the LabraS software in the planning of the sustainable soil preparation for sugarcane cultivation is the objective of this paper. The work was carried out at “Héctor Rodríguez” Base Business Unit (UEB), of the AZCUBA Sugar Group. The evaluation included the 2020-2021 soil preparation campaign, with 2 619.2 ha, concentrated in 57 blocks dedicated to sugarcane. The research conditions were characterized as complex, with a predominance of poorly drained areas (57%), medium and heavy textured soils (89%), and fallows or cane fields with very low agricultural yields without harvest (67%). The results showed an adequate selection of the technological alternatives, their operational variants and tasks by management condition. In addition, the correct application of the ISMACE criteria (integration of knowledge on soil, machinery, crop and working environment) in the algorithm of the LabraS software, for selecting the technologies with the best technological, economic, energetic and environmental impact, generally demonstrated satisfactory results in the validation of the functional adequacy for the planning of sustainable soil preparation.

Keywords: Functional Completeness, Functional Correctness, Functional Relevance, Software Testing, Agricultural Planning.

*Autor para correspondencia: Dr.C. Yoel Betancourt-Rodríguez, e-mail: yoel.betancourt@nauta.cu; yoelbr15@gmail.com

Recibido: 18/10/2022

Aceptado: 13/03/2023

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) trabajó en el desarrollo de un sistema computacional, el Software LabraS, especializado en la planificación sostenible de los procesos de labranza de suelo (Betancourt-Rodríguez *et al.*, 2018; Pérez-Santos, 2018; Betancourt-Rodríguez *et al.*, 2019a). Las recomendaciones consideraron los resultados de más de 30 años de investigación en ese campo en Cuba (Gómez *et al.*, 1997; Crespo *et al.*, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2013; Oliva *et al.*, 2014). La plataforma constituyó la herramienta principal de trabajo de la primera oferta del servicio de labranza de suelo dirigido al productor cañero (Betancourt-Rodríguez *et al.*, 2018).

En el desarrollo de sistemas computacionales es importante considerar la evaluación de calidad del producto software. Según la norma ISO/IEC 25010 (2011), es la manera en que el producto satisface los requerimientos del cliente y le aporta un valor. El modelo de calidad definido en dicha norma incluye ocho características: Adecuación funcional, Eficiencia de desempeño, Compatibilidad, Usabilidad, Fiabilidad, Seguridad, Mantenibilidad y la Portabilidad, todas compuestas por subcaracterísticas que en su conjunto facilitan el proceso de evaluación por las instituciones pertinentes.

Según Blanquicett *et al.* (2018), las pruebas de software son un proceso muy importante dentro del ciclo de desarrollo del software y se caracterizan por su exactitud, confiabilidad y repetitividad, siendo necesario conocer qué requisitos se prueban y revisar que el producto haga lo que se espera por el cliente. En ese sentido, Pauta y Moscoso (2017) definen que en la evaluación de la calidad del software se aplicará la consigna de ejecución paralela de Verificación y Validación, también conocidas como V&V, en las distintas fases del ciclo de vida.

La complejidad del software actual exige que las pruebas se ejecuten de forma paralela al desarrollo, de tal manera que los errores se encuentren a tiempo y se puedan corregir a bajo costo (Serna *et al.*, 2019; Marin-Diaz *et al.*, 2020).

La adecuación funcional específicamente representa una de las características importantes que determina la capacidad del producto SW para proporcionar funciones que satisfacen la demanda del usuario en las condiciones especificadas. Se subdivide en tres componentes: Completitud funcional, magnitud en que las funciones cubren las tareas y cumplen los objetivos del cliente; Corrección funcional, capacidad para proveer resultados correctos con el nivel de precisión requerido y Pertinencia funcional, posibilidad de proporcionar un conjunto apropiado de funciones para tareas y objetivos de usuarios específicos (ISO/IEC 25010, 2011).

Para la gestión sostenible del suelo, según FAO & GTIS (2015), es necesario utilizar conocimiento científico, conocimiento local, y enfoques y tecnologías probadas, basadas en evidencia para incrementar el suministro de alimentos, proporcionar una valiosa herramienta para la regulación del clima y salvaguardar los servicios de los ecosistemas. Así mismo, en una visión más amplia, propone lograr el desarrollo sostenible de forma equilibrada e integrada (FAO, 2019). Desde el punto de vista del laboreo, cuando existe una amplia base de conocimientos, es posible aplicar los principios de la sustentabilidad si se implementan criterios que integren el conocimiento del suelo, la maquinaria, el cultivo y el medio ambiente. El software LabraS (SW) puede ser una buena elección porque esa integración se aplica justo en el momento de la planificación de las labores agrícolas.

Para reducir el impacto ambiental de la labranza, algunos estudios recomiendan el desarrollo de sistemas alternativos de manejo mecánico que reviertan, detengan o mitiguen el deterioro del suelo, disminuyendo el consumo de energía y mejorando los resultados económicos del productor de caña de azúcar (Grange *et al.*, 2005; Tesouro *et al.*, 2019; Department of Agriculture and Fisheries-Queensland Government, 2021). El uso de escarificadores, ya sea para labranza en franjas o total, es una buena opción para transformar el escenario hacia un ambiente equilibrado en la preparación de suelos cañeros (Gómez *et al.*, 1997; Oliva *et al.*, 2014; Tesouro *et al.*, 2019).

Considerando lo anterior, el objetivo de esta investigación es evaluar la adecuación funcional del Software LabraS en la planificación de las labores de preparación de suelo en caña de azúcar.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Héctor Rodríguez, perteneciente al Grupo Empresarial AZCUBA. El área dedicada a caña se concentra en 17 004,98 ha. Los agrupamientos genéticos de suelos predominantes son Gleysol, con más del 30%; Pardo Sialítico, Vertisol y Ferralítico, ocupando entre 16 y 19%, según la clasificación genética del 2015 propuesta por Hernández *et al.* (2015).

La campaña de preparación de suelo 2020-2021 se planificó para 2619,2 ha, concentrado en 57 bloques dedicados a caña de azúcar. En la UEB, ya sea por los equipos del inventario o por contratación, existen los agregados disponibles para realizar las labores, aunque existen implementos como el C 101M y el Bayamo que requieren de modificación para satisfacer las exigencias agronómicas de las labores (Tabla 1). Las unidades productoras (UP) no disponen de equipos

para dicho proceso tecnológico por lo que no se incluyeron para su recomendación.

El SW LabraS posee un conjunto de funciones a disposición del usuario para asegurar la pertinencia funcional en el proceso de labranza de la caña de azúcar. La definición de factores limitantes para la labranza, la texturas del suelo y las condiciones del terreno partieron de una funcionalidad establecida en el Codificador o Nomencladores con parámetros y algoritmos específicos según [Betancourt-Rodríguez et al. \(2019a\)](#) los cuales son componentes fundamentales para seleccionar maquinarias y tecnologías para la preparación sostenible del suelo.

Los algoritmos del SW LabraS integran en un mismo procedimiento para las recomendaciones los conocimientos del suelo, la maquinaria, el cultivo y el entorno de trabajo, denominado criterios ISMACE (Integración Suelo-Maquinaria-Cultivo-Entorno de trabajo), lo cual significa evaluar los factores limitantes del suelo que se solucionan con la labranza o que definen el equipamiento a utilizar en aras de evitar roturas en los aperos, brindar resultados que satisfagan en todo momento los requerimientos agronómicos del cultivo y considerar el entorno en que se desarrollan las recomendaciones, visto desde la

procedencia de la maquinaria y la incidencia en el plano social y ambiental.

El esquema general para el procesamiento de la información con los algoritmos de recomendaciones (AR) y obtención de los reportes se presentan en la [Figura 1](#). Es importante señalar que una de las novedades en los procedimientos establecidos radica en que los pelotones no solo son el sistema organizativo para agrupar los equipos, sino el ambiente computacional que facilita la identificación de maquinaria en el entorno que se realizan las recomendaciones, formando parte del criterio ISMACE establecido.

El procesamiento de la información en los AR se estableció en tres etapas:

1. Determinar la Alternativa Tecnológica (AT).

En esta investigación se define como AT a la combinación entre los componentes de los factores que integran el proceso tecnológico. Mediante el nombre del componente y estableciendo una secuencia lógica se conforma el nombre de la alternativa, lo cual significa que cada alternativa en su nomenclatura encierra una condición de manejo agronómico. Atendiendo al número de factores considerados en la preparación de suelo por [Betancourt-Rodríguez et al.](#),

TABLA 1. Agregados disponibles por labores y situación de los implementos

Labores	Agregados disponibles	Situación de los implementos		
		Inventario	Modificación	Contratación
Alisado	YTO 1604 con Alisador AF			X
Rotura (Discos) y Cruce (Discos)	YTO 1604 con AT-90	X		
Descepe y rotura (Saetas)	YTO 1604 con C101M		X	
Descorone y Grada pesada	Komatsu D80 con Grada 14 500 Lbs			X
Descorone y Grada mediana	YTO 1604 con Grada GAPCR (Aradora)	X		
Grada ligera	YTO 1604 con Grada Rome			X
Descepe y rotura (Saetas), Rotura (Saetas) y Cruce (Saetas)	YTO 1604 con Bayamo (Modificado)		X	
Subsolación	Komatsu D80 con SP 280H			X

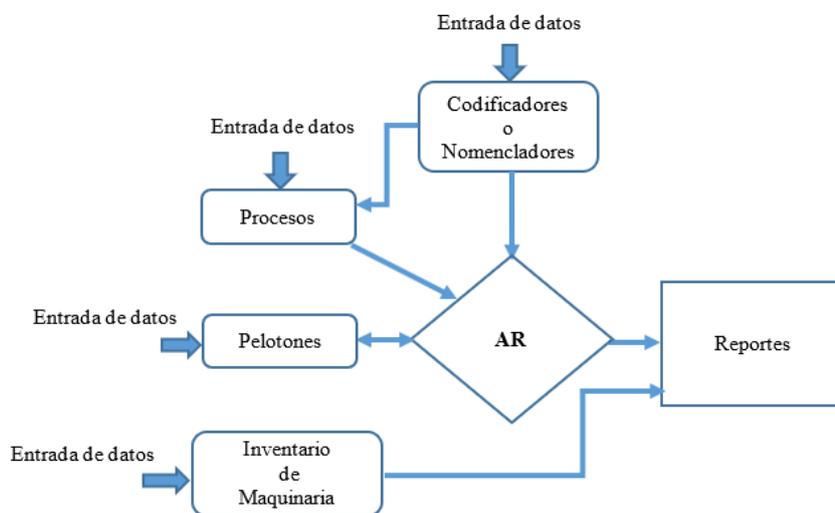


FIGURA 1. Entrada de datos, procesamiento y obtención de los reportes

(2018) se definieron 169 alternativas tecnológicas posibles a recomendar por la plataforma informática.

La entrada del algoritmo son los bloques cañeros (B) y el proceso tecnológico (PT). La salida es la AT de cada bloque adecuada a las condiciones de manejo (C), entonces siendo n igual al total de bloques:

Input: (B, PT)

Output: AT_i

1: **for** $i = 1$ **to** n **do**

2: $C \leftarrow \text{GetConditions}(B_i)$

3: $AT_i \leftarrow \text{Match } AT(C)$

4: **End for**

2. Determinar la Variante adecuada dentro de la AT.

La variante (V) contiene la secuencia de labores, ordenadas según criterios agronómicos para responder a los requerimientos del cultivo (Figura 2) y son específicas de cada alternativa por lo que en la plataforma informática se manejan de forma independiente. En la concepción de trabajo se estableció la posibilidad de que la AT la integrara una o varias variantes, incluyendo además el *Criterio de Expertos* para fijar un orden de selección por el usuario, lo cual brinda más opciones y flexibilidad.

Para las labores se utiliza una nomenclatura específica lo cual constituye otro nivel de selección que amplía el abanico de posibilidades para el usuario y facilita la aplicación del sistema ISMACE. Un ejemplo es el de la labor Rotura, que en condiciones de producción se utiliza ese único término para referirse a todo lo concerniente a las labores iniciales de roturación del suelo, sin embargo en la codificación de las labores en la plataforma LabraS se encuentran varias terminologías tales como Rotura (Discos), para el laboreo primario con arados y gradas de discos y la

Rotura (Saetas), para el laboreo primario con arados de cincel con saetas o alados como también se conocen.

Considerando n como el total de bloques a procesar, el algoritmo sigue los pasos siguientes:

Input: (B, AT)

Output: (V_i)

1. **for** $i = 1$ **to** n **do**

2. $variants \leftarrow \text{GetVariants}(B_i, AT_i)$

3. **If Defined** (ExpertJudgment)

4. $variants \leftarrow \text{OrderByExpertJudgment}(variants)$

5. **Else**

6. $variants \leftarrow \text{OrderByJobsCount}(variants)$

7. **While Not** Complete Variant is Found **do**

8. $jobs \leftarrow \text{GetJobs}(variants_i)$

9. $V_i \leftarrow \text{MatchJobAggregates}(jobs)$

10. **End While**

11. **Set**(V_i)

12. **End for**

En la evaluación de las labores recomendadas no se consideraron las concernientes al acondicionamiento del terreno como la aplicación de herbicida y la chapea, por no formar parte directa de la labranza de suelo en el proceso tecnológico de preparación de suelo.

3. Seleccionar un Agregado para cada labor que conforma la variante seleccionada.

El agregado (A) no es más que el conjunto formado por la unión del tractor con el implemento. Para realizar una labor dentro de la variante es posible encontrar en el inventario de maquinaria diferentes agregados que puedan realizarla o que no siempre está disponible en el momento requerido. Siendo P la Brigada o pelotón se procedió de la siguiente forma:

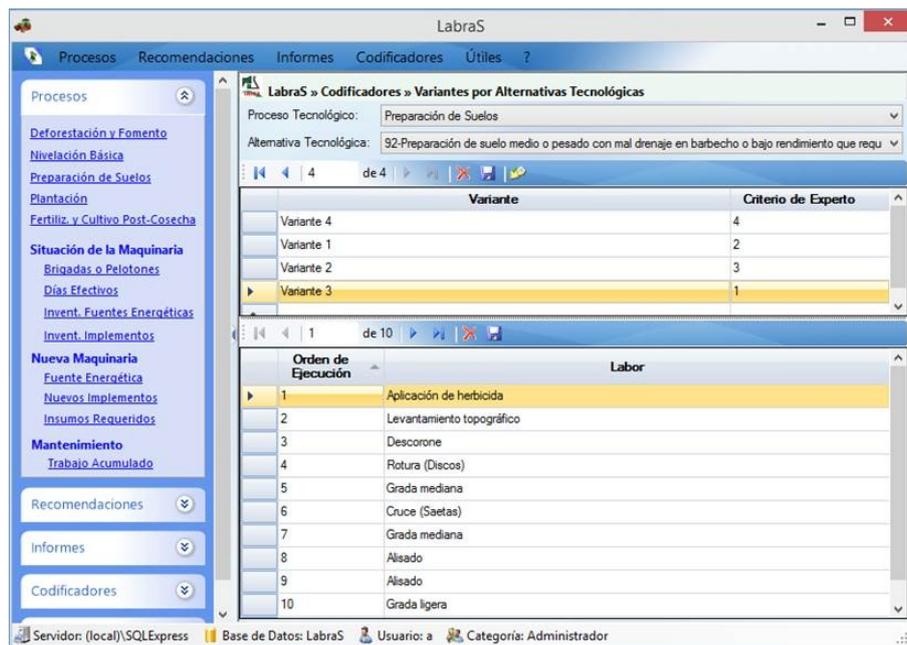


FIGURA 2. Entorno del SW LabraS con las variantes por alternativas tecnológicas

```

Input: (V, P)
Output: (Ai, jobsi)
1: jobs ← GetJobs (V)
2: for i = 1 to jobs.count do
3: aggregates ← GetAggregates (jobsi)
4:
5: If Defined (ExpertJudgment)
6: aggregates ← OrderByExpertJudgment
(aggregates, ASC)
7: Else
8: aggregates ← OrderByGeneralCriteria
(aggregates, ASC)
9: End If
10:
11: While Aggregates.next do
12: If IsIn (Ai, P) And IsAvailable (Ai)
13: Set (Ai, jobsi)
14: Exit While
15: End If
16: End While
17: End for
    
```

En la selección del agregado al igual que en la variante, también el usuario cuenta con la opción de establecer criterio de experto, lo cual amplía la gama de posibilidades al poder definir uno entre los existentes, independientemente del criterio de explotación.

De los tres criterios de explotación definidos en el programa computacional para la elección del agregado (Rendimiento, ha·jornada⁻¹; gasto específico de combustible, L·ha⁻¹ y costo, peso·ha⁻¹) se seleccionó el Costo para realizar las recomendaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución del factor más limitante para la mecanización de la labranza (FML), por unidad mínima de manejo (Bloque cañero) para la preparación de 2619,2 ha mostró un predominio de las áreas con problemas de mal drenaje con alrededor del 57%, seguido de los problemas de pedregosidad (14%), salinidad (5%) y profundidad efectiva (1,4%), encontrándose las áreas sin limitaciones para la labranza en el 22% aproximadamente (Figura 3). En ese sentido, la recomendación de labores y equipos deben estar dirigidos a enfrentar las limitaciones y crear condiciones favorables para la creación de un lecho adecuado para el desarrollo del cultivo, coincidiendo con lo planteado por [Crespo et al. \(2013\)](#); [Oliva et al. \(2014\)](#); [Betancourt-Rodríguez et al. \(2018\)](#).

Desde el punto de vista de la textura del suelo, siguiendo la clasificación dada por [Betancourt-Rodríguez et al. \(2019b\)](#) predominaron los de textura media y pesada, ocupando 2331 ha, quedando las restantes 288 ha en suelos ligeros (11%).

Las condiciones sobre la superficie del terreno (Figura 4) indicaron predominio de las áreas de

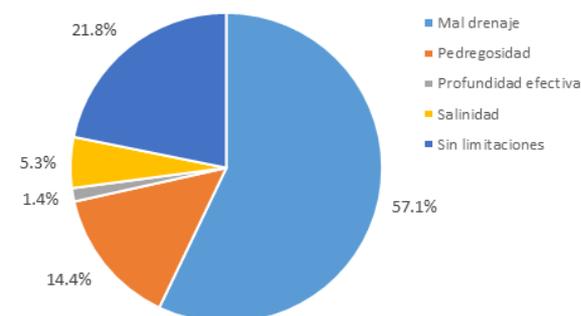


FIGURA 3. Porcentaje de participación del FML de las áreas a preparar.

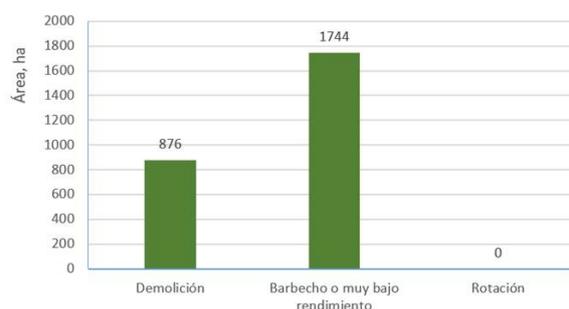


FIGURA 4. Condiciones del terreno de las áreas a preparar.

barbecho o de caña de muy bajo rendimiento agrícola no cosechada, representando el 67% (1744 ha), quedando sobre demolición las restantes (33%) al ser nula las provenientes de la rotación. Esta situación complica la planificación de la preparación de suelo a partir de que el escenario predominante demanda de mayor plazo entre operaciones y tiempo total de preparación de suelo, además agravado por la posible presencia de vegetación arbustiva que requiere de equipos sobre esteras, robustos y de mayor potencia, que si no integran el inventario de maquinaria implicaría realizar la contratación.

En todos los casos, su identificación e inclusión dentro de los algoritmos crea las condiciones para realizar una planificación más precisa, donde las más variadas y complejas condiciones encuentren una solución para el manejo agronómico. Es importante señalar, la necesidad de incorporar área proveniente de la rotación con otros cultivos por tener el terreno condiciones más adecuadas para el trabajo de los equipos de labranza según [Gutiérrez et al. \(2013\)](#), además de incorporar otros beneficios como los relacionados con la diversificación de la producción.

El análisis de las alternativas tecnológicas (AT) recomendadas (Tabla 2) mostró una adecuada relación con las condiciones de manejo, lo que se evidencia en que la suma del área total por AT coincide con el área total de preparación de suelo de la campaña (2619,2 ha) y la suma de frecuencia por AT con el total de bloques procesados (57 bloques).

Por otra parte, las AT 92, 89 y 83 que abarcaron el 57% de los suelos donde predomina el mal drenaje, en correspondencia con el factor predominante en las condiciones bajo estudio. Igualmente sucede al analizar las condiciones de demolición que abarcaron 876 ha, presentes en las AT 100,112 ,33 ,9 ,89 ,144 y en todos los casos con textura media y pesada que es la prevaleciente en la UEB.

Además, las AT 112, 116, 64, 92 y 89 se recomendaron cinco o más veces; siendo el AT 92 el de mayor frecuencia con 19 veces, por lo tanto, la que determina con mayor peso la demanda de trabajo y el tipo de equipo a utilizar.

Todo lo anterior muestra una adecuada corrección funcional de LabraS SW en la determinación de AT por condición de manejo, demostrando además

resultados satisfactorios de los algoritmos de recomendación en la primera etapa.

Para la selección de las labores y los agregados se procesaron 29 variantes (V) en las 12 AT recomendadas, con posibilidades desde uno hasta cinco variantes (Tabla 3). Así mismo, se apreció que la sumatoria de la frecuencia de recomendación coinciden con el total de bloques recomendados (57), además la selección no fue siempre en la primera variante, sino en función de los procedimientos establecidos siguiendo el criterio ISMACE, como se observa en las AT 144, que de tres variantes solo V3 se recomendó, o también en las AT 89, que de cinco posibilidades la elección se concentró en V4 y V5.

El empleo del Criterio de Experto (CE) en la selección de las variantes, como opción para ampliar

TABLA 2. Recomendación de alternativas tecnológicas para las condiciones de manejo

Número-Nombre de la alternativa	Frecuencia	Área, ha	%
100-Preparación de suelo ligero con pedregosidad y/o rocosidad en demolición y cambio de surquería.	4	149	6
112-Preparación de suelo medio o pesado con pedregosidad y/o rocosidad en demolición y cambio de surquería.	5	97	4
116-Preparación de suelo medio o pesado con pedregosidad y/o rocosidad en barbecho o bajo rendimiento y cambio de surquería.	5	132	5
128-Preparación de suelo medio o pesado con problema de profundidad efectiva en barbecho o bajo rendimiento y cambio de surquería.	1	36	1
33-Preparación de suelo medio y pesado sin limitaciones sobre demolición y cambios de surquería.	1	167	6
64-Preparación de suelo medio o pesado sin limitaciones en barbecho o bajo rendimiento y cambio de surquería.	1	271	10
9-Preparación de suelo ligero sin limitaciones sobre demolición y cambio de surquería.	4	133	5
92-Preparación de suelo medio o pesado con mal drenaje en barbecho o bajo rendimiento que requiere alisado y cambio de surquería.	8	1170	45
89-Preparación de suelo medio o pesado con mal drenaje en demolición que requiere alisado y cambio de surquería.	1	275	10
83-Preparación de suelo ligero con mal drenaje en barbecho o bajo rendimiento que requiere alisado y cambio de surquería.	6	51	2
144-Preparación de suelo medio o pesado con problema de salinidad en demolición que requiere alisado y cambio de surquería.	19	55	2
147-Preparación de suelo medio o pesado con problema de salinidad en barbecho o bajo rendimiento que requiere alisado y cambio de surquería.	2	84	3

TABLA 3. Variantes y frecuencia de recomendación por alternativas tecnológicas (AT)

Número AT	Variantes por AT	Frecuencia de recomendación de las variantes				
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
100	1	4				
112	1	5				
116	2		5			
128	2	1				
144	3			1		
147	2	1				
33	3		4			
64	2		8			
83	1	1				
89	5				2	4
92	4		2	17		
9	3			2		

la gama de posibilidades del usuario, quedó validado en la AT 92 donde la Variante 3 se recomendó 17 veces por contar con CE igual a 1. La validación de la Disponibilidad de equipo como factor a considerar en los algoritmos se demostró en esa misma AT, por recomendarse en dos ocasiones la Variante 2, como resultado de que los equipos se utilizaron en igual fecha de inicio del trabajo. Esta parte demostró, tal como lo establece la Norma [ISO/IEC 25010 \(2011\)](#), el cumplimiento de las tres subcaracterísticas de la adecuación funcional de LabraS SW: integridad, corrección y pertinencia funcional.

Las variantes, aunque son independientes, no se pueden ver aisladas de las labores y los agregados, en ese sentido y en aras de lograr mayor comprensión en las [Tablas 4 y 5](#) se muestra la relación AT-Variante-Labor, donde se pueden identificar las labores recomendadas por AT, pero sin mantener la secuencia de la carta tecnológica.

Para la preparación de suelo se recomendaron 11 labores. El descorone se dirigió para suelos de textura media y pesada sobre demolición, donde por el paso de los medios de cosecha, o por el propio manejo agronómico del cultivo se formó un montículo de suelo en la superficie que restringió el movimiento de los equipos perpendicular u oblicuo respecto a la dirección de los surcos, coincidiendo con las AT donde se recomendó, solo quedan diferenciadas las que se le aplicó grada pesada por poseer condiciones complejas que limitan el uso de la grada media, como la presencia de vegetación arbustiva.

Los escarificadores se recomendaron para el laboreo primario total y localizado en las condiciones posibles, en las labores de descepe y rotura (saetas), rotura (saetas) y cruce (saetas) (AT 144, 89, 147, 128, 33, 92), lo cual satisface los algoritmos al elegir la que cuente con menos costo de operación, además es conveniente señalar que colateralmente incorporan beneficios tecnológicos, energéticos y medioambientales [Gómez et al. \(1997\)](#); [Crespo et al.](#)

[\(2013\)](#); [Oliva et al. \(2014\)](#); [Tesouro et al. \(2019\)](#) y sigue los principios establecidos por la FAO en laboreo del suelo ([FAO & GTIS, 2015](#); [FAO, 2019](#)).

Por otro lado, también se evitó el escarificador en las áreas afectadas por rocas y piedras (AT 100, 112 y 116) y por lo tanto la ocurrencia de daños que pudieran invalidar completamente el implemento. De esta forma quedó demostrada la integración suelo-maquinaria en los algoritmos y la adecuada corrección funcional de los SW, no solo para solucionar las limitaciones del suelo para el desarrollo del cultivo, sino también en la selección adecuada de los equipos.

Para las áreas con problemas de rocosidad y pedregosidad se recomendó la Rotura (Discos) y el Cruce (Discos) (AT 100 y 112), lo cual concuerda con lo sugerido por [Crespo et al. \(2013\)](#); [Oliva et al. \(2014\)](#); [Betancourt-Rodríguez et al. \(2018\)](#). También se planteó en suelos sin limitaciones (AT 9 y 89) porque los escarificadores no estaban disponibles en la fecha de inicio. Un ejemplo de ello está en la AT 89 con cinco variantes, donde se recomendó la que combina ambos tipos de equipos (escarificador y de discos), también por la disponibilidad de los implementos en la fecha especificada, establecida igualmente como condición dentro de los algoritmos del software.

La otra parte de los aperos para satisfacer la carta tecnológica provienen de la contratación a un tercero, lo que al identificarlo oportunamente facilita el propio trabajo de planificación, encontrándose en este caso las labores de subsolación y grada pesada y de alistamiento (Grada ligera y alisado) que las realiza la empresa TRANZMEC. Este resultado demuestra la aplicación del criterio ISMACE en los algoritmos para las recomendaciones de planificación, específicamente lo referente al pelotón como ambiente computacional para la vinculación de las recomendaciones con el entorno de trabajo.

La grada pesada complementó el trabajo con los subsoladores para las condiciones del terreno de

TABLA 4. Relación alternativas tecnológicas (AT), variantes (V) y labores en el laboreo primario

AT	Descorone				Desc. y rotura (Saetas)		Rotura (Discos)			Rotura (Saetas)			Cruce (Discos)					Cruce (Saetas)					Subsolación			
	V1	V2	V3	v4	V3	V5	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V1	V2	V3	V5	V1	V2	V3	V4			
100							4						4													
112	5						5						5													
116																							5			
128										1						1										
144					1													1								
147										1						1										
33	4								4									4								
64																							8			
83																							1			
89				2		4								2					2					2		
92		17							2	17									2	17						
9											2													2		

TABLA 5. Relación alternativas tecnol. (AT), variantes (V) y labores en el laboreo secundario

AT	Grada pesada				Grada mediana					Alisado					Grada ligera				
	V1	V2	V3	V4	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
100					4										4				
112					5										5				
116		5																5	
128					1										1				
144								1				1						1	
147					1					1					1				
33											4							4	
64		8									8							8	
83					1										1				
89								2	4								2	4	
92						2	17					2	17				2	17	
9								2										2	

barbecho o bajo rendimiento por la presencia de vegetación arbustiva (AT 116,64, 83), o en suelos de textura media con mal drenaje interno (AT 89). El alisado está asociado a la necesidad identificada por el productor, en ese sentido se observó una preponderancia en la AT 92, como resultado de que encierra la condición de manejo predominante. La grada mediana y la ligera se recomendaron en todas las condiciones para satisfacer el requerimiento de lograr una proporción adecuada de agregados en el suelo para asegurar un buen surco y tape de los esquejes de semilla.

El área total para las labores planificadas indicó que los escarificadores se recomendaron desde la rotura en solo 11% del área (Figura 5), muy bajo respecto a la potencialidad cercana al 85% del área de la campaña, sin incluir las de problemas con pedregosidad y rocosidad. Esto se debió al predominio de las condiciones del terreno en barbecho o bajo rendimiento no cosechadas (67%).

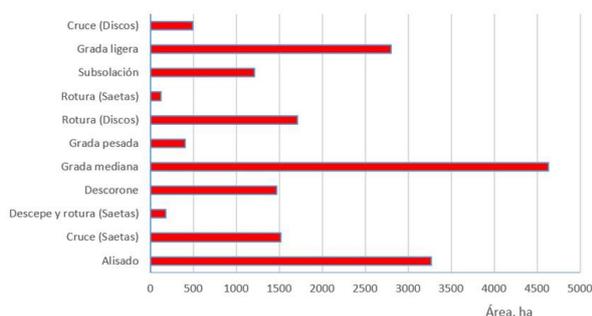


FIGURA 5. Área total por labores.

Es importante denotar que el balance no incluyó aquellos con problemas de pedregosidad o rocosidad. Por otra parte, se propuso la rotura (Discos) y la subsólación, aclarando que para esta última se concibieron dos pases, de ahí las 1209 ha realizadas. Es importante precisar que la escarificación no fue

concebida en el Plan Técnico-Económico de la UEB, lo que demuestra la potencialidad del SW LabraS en la adecuada planificación de las labores de preparación del suelo.

La grada mediana es la que predominó en cuanto al nivel de trabajo, propuesto en dos pases y ocupando el 88% del área, las restantes se laboraron con la grada pesada la cual se dirigió para el descorone en las condiciones complejas del terreno por la existencia de malezas arbustivas como *Dichrostachys cinerea* (Marabú), *Albizia procera* (Algarrobbillo) y *Leucaena leucocephala* (Leucaena). La grada ligera en al menos un pase al final de la preparación en el 100% del área, y el alisado con dos pases para el área que la demandó, lo que justifica la aplicación en alrededor de 2800 ha de esta labor.

Es importante señalar que al estar toda el área en condiciones de cambio de surquería y con un predominio del barbecho o bajo rendimiento se observaron limitaciones para recomendar la tecnología de laboreo localizado (LL), quedando como posibles las de preparación total con y sin invertir el prisma por ser las más adecuadas.

El resultado satisfactorio del SW LabraS en la completitud, corrección y pertinencia funcional en la planificación de la preparación sostenible del suelo para la caña de azúcar se debe a la realización de pruebas de desarrollo paralelas sobre cada funcionalidad incorporada, coincidiendo con lo propuesto por [Serna et al. \(2019\)](#) y [Marín-Díaz et al. \(2020\)](#).

Los procedimientos presentados son la base para conformar las cartas tecnológicas bloque a bloque, tal como fue presentado en el proceso de plantación de caña de azúcar por [Betancourt-Rodríguez et al. \(2019b\)](#), y representan una opción para transformar el escenario hacia un ambiente equilibrado en la preparación de suelos de caña de azúcar.

CONCLUSIONES

- Las condiciones de la investigación se caracterizaron por la existencia de una alta complejidad para la preparación del suelo, donde predominaron las áreas con mal drenaje (57%), suelos de textura media y pesada (89%) y los barbechos o campos de caña de muy bajo rendimiento agrícola sin cosechar (67%).
- Las alternativas tecnológicas, sus variantes operacionales y labores fueron seleccionadas adecuadamente por condición de manejo. Los criterios ISMACE en el algoritmo del software LabraS permitieron seleccionar las tecnologías con mejor impacto económico, energético y ambiental, teniendo también en cuenta el papel de la maquinaria respecto a su pertenencia, en base a:
- Recomendar satisfactoriamente los escarificadores en la operación de rotura (11%) y cruce (57%), aunque muy bajo frente al potencial de la zona, cercano al 85%, debido a las complejas condiciones superficiales.
- Dirigir adecuadamente el uso de equipos pesados de orugas, como el tractor Komatsu con la grada pesada y los subsoladores SP 280, hacia las áreas de plantas leñosas independientemente de si pertenece o no a la UEB.
- Recomendar el uso de medios tradicionales como arados de discos y gradas en zonas con problemas pedregosos y rocosos, aunque no tengan mejores criterios de explotación, para evitar roturas en los escarificadores.
- El Software LabraS mostró resultados satisfactorios en la validación de la idoneidad funcional para la planificación de la preparación sostenible del suelo en las circunstancias especificadas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETANCOURT-RODRÍGUEZ, Y.; ALONSO-CAMACHO, D.; GONZÁLEZ-MORALES, A.B.; LA ROSA-AGRAMONTE, A.J.: “Sistema automatizado LabraS para la planificación de la labranza de suelo en caña de azúcar”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(4), 2019a, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- BETANCOURT-RODRÍGUEZ, Y.; GUILLÉN-SOSA, S.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, J.F.; ALFONSO-VILLEGAS, A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, R.; OLIVA-ÁGRA, L.: “Servicio para la asistencia técnica en la labranza de suelos dedicados a caña de azúcar”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(2): 1-13, 2018, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- BETANCOURT-RODRÍGUEZ, Y.; PÉREZ-SANTOS, D.; ÁLVAREZ-ROJAS, A.: “Asistencia técnica de la labranza en el control de arvenses en caña de azúcar”, *Ingeniería Agrícola*, 9(3), 2019b, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- BLANQUICETT, L.A.; BONFANTE, M.C.; ACOSTA-SOLANO, J.: “Prácticas de pruebas desde la industria de software. La plataforma asisto como caso de estudio”, *Información tecnológica*, 29(1): 11-18, 2018, ISSN: 0718-0764.
- CRESPO, F.R.; PÉREZ, H.I.; RODRÍGUEZ, I.; GARCÍA, I.: *Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar*, Agronomía ed., La Habana, Cuba, 119-146 p., Capítulo 6. Agronomía, 2013, ISBN: 978-959-300-051-2.
- DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND FISHERIES-QUEENSLAND GOVERNMENT: *Sugarcane Improved Practices Guide: Burdekin*, [en línea], Inst. Department of Agriculture and Fisheries-Queensland Government, Australia, 2021, Disponible en: <http://www.publicationsqld.gov.au/dataset/05fe1bbd-1933-4205-851b-a469f915327e/resource/0de77def-fd92-4cf7-a325-bcd51cd e562e/download/burdekin-sugarcane-ipc-guide.pdf>.
- FAO: *El apoyo de la FAO para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América del Sur - Panorama*, Ed. FAO, Santiago de Chile, Chile, 72 p., Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2019, ISBN: 978-92-5-131350-3.
- FAO & GTIS: *Estado mundial del recurso suelo (EMRS)*, Ed. FAO, Roma. Italia, 79 p., Resumen Técnico (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, 2015, ISBN: 978-92-5-308960-4.
- GÓMEZ, A.; VELARDE, E.; CÓRDOBA, R.: “Nuevas soluciones para la preparación de suelos en Cuba”, *Revista Cuba & caña*, 2(3): 31-36, 1997, ISSN: 1028-6527.
- GRANGE, I.; PRAMMANEE, P.; PRASERTSAK, P.: “Comparative analysis of different tillage systems used in sugarcane (Thailand)”, *Australian Farm Business Management Journal*, 2(1): 46-50, 2005, ISSN: 1449-5937.
- GUTIÉRREZ, A.; DÍAZ, F.; VIDAL, L.; RODRÍGUEZ, I.; PINEDA, E.; BETANCOURT, Y.; GÓMEZ, J.: “Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de la caña de azúcar en los suelos arcillosos pesados con regadío superficial”, *Revista Cuba & Caña*, 1: 15, Suplemento Especial, 2013, ISSN: 1028-6527.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Inst. Instituto de Suelos. La Habana, Cuba: INCA, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, 92 p., Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 2015.
- ISO/ IEC 25010: *Systems and software engineering Systems and software Quality*, Inst. ISO/IEC

25010. International Standard, Requirements and Evaluation, 33 p., Systems and software quality models (SQuaRE), 2011.
- MARIN-DIAZ, A.; TRUJILLO-CASAÑOLA, Y.; BUEDO-HIDALGO, D.: “Estrategia de pruebas para organizaciones desarrolladoras de software”, *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 14(3): 83-104, 2020, ISSN: 2227-1899.
- OLIVA, L.M.; GALLEGO, R.; FERNÁNDEZ, G.; RUBÉN, H.: “Fomento y reposición”, En: *Instructivo técnico para el manejo de la caña de azúcar*, Ed. Editorial AMA, 2da edición ed., La Habana, Cuba, pp. 79-106, En: Instituto de Investigación de la Caña de Azúcar (Cuba), edit. Ignacio Santana, Maribel González, Sergio Guillen Sosa, Ramón Crespo, 2014, ISBN: 978-959-300-036-9.
- PAUTA, L.; MOSCOSO, S.: “Verificación y Validación de Software”, *Revista Killkana Técnica*, 1(3): 25-32, 2017.
- PÉREZ-SANTOS, D.: *Planificación de la labranza de suelo en caña de azúcar mediante el sistema automatizado LabraS*, Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas, Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Ingeniería Agrícola, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 75 p., publisher: Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias ..., 2018.
- SERNA, E.; MARTÍNEZ, R.; TAMAYO, P.: “Una revisión a la realidad de la automatización de las pruebas del software”, *Computación y Sistemas*, 23(1): 169-183, 2019, ISSN: 1405-5546.
- TESOURO, M.O.; FERNANDEZ, U.E.; VENTURELLI, L.; ROBA, M.A.; ROMITO, A.; DONATO, L.B.; BONGIOVANNI, R.; ERAZZU, L.E.; FONTANA, P.D.; PERALTA, A.: “Yields and economic results of sugarcane cultivation under an alternative system compared to traditional management”, En: *International Society of Sugar Cane Technologists*, Ed. International Society of Sugar Cane Technologists, pp. 584-590, 2019.

Yoel Betancourt-Rodríguez, Dr.C., Ing. Mec., Investigador titular, Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara (INICA-Villa Clara). Autopista nacional km 246, Ranchuelo, Villa Clara. Profesor Titular adjunto de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV), Cuba, e-mail: yoel.betancourt@nauta.cu; yoelbr15@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4109-8775>)

Darién Alonso-Camacho, Ingeniero en Ciencias Informáticas, Especialista. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara (INICA-Villa Clara), Cuba, e-mail: darienalonso@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5520-1836>

Jorge Luis Ponce-Salaza, Ingeniero Agropecuario, Especialista. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA Centro-Villa Clara), Cuba, e-mail: jorge.ponce@inicavc.azcuba.cu (ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4266-7754>).

Liván Amado Villavicencio-Ramírez, Estudiante graduado de Ingeniería Agrícola en la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV), Cuba, e-mail: livan.villavicencio@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9881-1869>

Conceptualization: Yoel Betancourt Rodríguez. **Data curation:** Yoel Betancourt Rodríguez, **Formal Analysis:** Yoel Betancourt Rodríguez. **Investigation:** Yoel Betancourt Rodríguez, Darién Alonso Camacho, Jorge Luis Ponce Salazar, Liván Amado Villavicencio Ramírez. **Methodology:** Yoel Betancourt Rodríguez. **Software:** Yoel Betancourt Rodríguez, Darién Alonso Camacho. **Supervision:** Yoel Betancourt Rodríguez. **Validation:** Yoel Betancourt Rodríguez, Jorge Luis Ponce Salazar, Liván Amado Villavicencio Ramírez. **Writing – original draft:** Yoel Betancourt Rodríguez, Darién Alonso Camacho. **Writing – review & editing:** Yoel Betancourt Rodríguez, Darién Alonso Camacho.

The authors of this work declare no conflict of interests.

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher

This article is under license [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)