



UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS
"JOSÉ MARTÍ PÉREZ"
FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA



CENTRO UNIVERSITARIO MUNICIPAL
PACHITO GÓMEZ TORO
JATIBONICO

TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: POTENCIALIDADES PARA LA ESCARIFICACIÓN EN LA PREPARACIÓN DE SUELO PARA CAÑA DE AZÚCAR EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA URUGUAY.

Autor: Marcos Diaz González

Sancti Spíritus
Año 2023



**CENTRO UNIVERSITARIO MUNICIPAL
PACHITO GÓMEZ TORO
JATIBONICO**

TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: POTENCIALIDADES PARA LA ESCARIFICACIÓN EN LA PREPARACIÓN DE SUELO PARA CAÑA DE AZÚCAR EN LA EMPRESA AGROINDUSTRIAL AZUCARERA URUGUAY.

Autor: Marcos Diaz González

**Tutores: Dr. C. Yoel Betancourt Rodríguez
Ing. Dania Valle Salazabal**

**Sancti Spíritus
Año 2023**

Copyright© UNISS

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”, y se encuentra depositado en los fondos del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación “Raúl Ferrer Pérez” subordinada a la Dirección de General de Desarrollo 3 de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su publicación bajo la licencia siguiente:

Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación “Raúl Ferrer Pérez”.

Comandante Manuel Fajardo s/n, Olivos 1. Sancti Spíritus. Cuba. CP. 60100

Teléfono:41-334968

PENSAMIENTO

“La agricultura es una ciencia que hay que tratarla con respeto (...) hay que darle más atención, a la caña y a los demás cultivos”

Ernesto Che Guevara

DEDICATORIA

A mis padres, por traerme a la vida y enseñarme a caminar por ella.

A mi tíos, por su apoyo incondicional.

A mis abuelos, que siempre están para enseñarme y cuidarme.

A mi familia en general, la que quiero con todas las fuerzas de mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Difícil es realmente resulta mencionar a todas aquellas personas que merecen mis más sinceros agradecimientos en el largo camino que ha transcurrido en mi vida estudiantil, personas que me han brindado su apoyo de manera incondicional, que han hecho posible que el sueño por el que tanto he luchado se haga realidad. En especial quiero agradecer:

A mi mamá, Oraidys, porque sin su amor, apoyo y comprensión hoy no estaríamos realizando este anhelado sueño por el que tanto hemos luchado. Gracias por tus sabios consejos, te amo.

A mi padre, Eddi, por haberme educado de la forma en que lo hizo. De igual forma, con todo mi corazón, te amo.

A mi tío ,Omar . No hay palabras para describir cuán agradecido estoy por su apoyo incondicional, por todos sus consejos que me han llevado hasta aquí y, lo más importante, por su cariño, que me da fuerzas para seguir adelante.

A mis abuelos, por darme fuerzas para terminar mi carrera y así seguir avanzando con mis metas y tener un mejor futuro en años venideros. Son muy importantes para mí, los amo.

A toda mi familia, por su apoyo incondicional.

A mis tutores , Yoel Betancourt y Dania Valle que han sido pilar fundamental para la confección de este trabajo de diploma.

A mis amigos y amigas, que van y vienen por la vida dejando huellas imborrables.

A todos aquellos que dan sin esperar recibir nada a cambio.

A todos, gracias.

RESUMEN.

La aplicación de la escarificación en la preparación de suelo ha demostrado beneficios tecnológicos, energéticos, económicos y medioambientales; sin embargo, en la actualidad no se emplean con la magnitud esperada, o se utilizan en condiciones inadecuadas que ocasionan roturas que invalidan técnicamente el implemento. Con el objetivo de determinar las potencialidades en el empleo de la escarificación en la preparación de suelo para caña de azúcar se realizó esta investigación. El trabajo se efectuó en la Empresa Agroindustrial Azucarera (EEA) Uruguay. Los datos de preparación de suelo y los procedimientos aplicados se realizaron según lo establecido por el servicio de labranza del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Los resultados mostraron condiciones de investigación caracterizadas por el predominio de la Pedregosidad y rocosidad (47%), los suelos de textura media (40%) y las condiciones del terreno sobre demolición (52%). Además, la planificación de la preparación de suelo se realizó satisfactoriamente mediante el SW LabraS, lo cual permitió identificar un potencial para la aplicación de la escarificación dado como área-labor de 6827.14 ha, expresado en las labores de rotura (Saetas), cruce (Saetas) y profundización y surque (Saetas) con 3085.05 ha, 265.87 ha y 3476,22 ha, respectivamente. La evaluación del impacto energético y económico determinó que por no aplicar la escarificación se dejó de ahorrar 68,3 mil L de combustible diésel, lo que equivale a 955.1 mil pesos en CUP. Se recomendó implementar la escarificación en la empresa y planificar el trabajo en bloques compactos.

Palabras clave: Labranza de suelo, Escarificación, Software LabraS, Manejo agronómico, Caña de azúcar.

ABSTRACT

The application of scarification in soil preparation has demonstrated technological, energy, economic and environmental benefits; however, currently they are not used to the expected magnitude, or they are used in inappropriate conditions that cause breakages that technically invalidate the implement. With the objective of determining the potential in the use of scarification in the soil preparation for sugar cane, this research was carried out. The work was conducted at the Agroindustrial Sugar Company (EAA) Uruguay. The soil preparation data and the procedures applied were carried out as established by the tillage service of the Sugar Cane Research Institute. The results showed research conditions characterized by the predominance of stoniness and rockiness (47%), medium-textured soils (40%) and demolition terrain conditions (52%). In addition, the planning of soil preparation was carried out satisfactorily using the SW LabraS, which made it possible to identify a potential for the application of scarification given as a work-area of 6827.14 ha, expressed in the labors of breaking (Arrows), crossing (Arrows) and deepening and furrowing (Arrows) with 3085.05 ha, 265.87 ha and 3476.22 ha, respectively. The evaluation of the energy and economic impact determined that by not applying scarification, 68.3 thousand L of diesel fuel were not saved, which is equivalent to 955.1 thousand pesos in CUP. It was recommended to implement scarification in the company and plan the work in compact blocks.

Keywords: Soil tillage, Scarification, LabraS Software, Agronomic management, Sugar cane.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. SITUACIÓN ACTUAL DEL TEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.1 Origen e importancia de la caña de azúcar.	4
1.2 Situación actual sobre la producción de caña de azúcar internacionalmente y en Cuba.	5
1.3 Tecnologías y equipos utilizados en la preparación de suelo para caña de azúcar en Cuba.	7
1.4 Generalidades e importancia de la escarificación en la preparación del suelo.	10
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1 Procedimiento para realizar la caracterización del área de investigación y la planificación de la preparación de suelo.	12
2.1.1 Metodología para la caracterización de las condiciones de manejo	12
2.1.2 Premisas para determinar las potencialidades de la escarificación de suelo	13
2.2 Procedimiento para la planificación de las labores de la preparación de suelo.	14
2.3 Procedimiento utilizado para identificar la situación de las áreas para la preparación de suelo en la EAA.....	16
2.4 Metodología empleada para identificar la situación de los pelotones de preparación de suelo en la EAA.....	17
2.5 Metodología para evaluar el impacto de las recomendaciones de planificación mediante la escarificación.	21
CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
3.1 Caracterización de las condiciones de manejo de las áreas de preparación de suelo.	21
3.2 Recomendaciones de planificación para la preparación de suelo con el Sistema Automatizado LabraS.....	24
3.3.1 Definición de las labores recomendadas a nivel de bloque.	28
3.3 Impacto de la aplicación de la escarificación en condiciones de producción.	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXOS.....	41

INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar original (*Saccharum spp.*), es una poacea procedente de Nueva Guinea, se cultivó por primera vez en el Sureste Asiático y la India occidental. Fue introducido en Egipto en 647 D.C. y un siglo más tarde se llevó a España (755 D.C.), donde se originó su expansión con la colonización (SAGARPA – CONADESUCA, 2015 citado por InfoAgro, 2022). Este cultivo llegó a Cuba hace 500 años, procedente de Santo Domingo, traído por navegantes españoles, que desembarcaron por punta de Güincho en la Bahía de Nuevitas, el 13 de mayo de 1516 (Días Barreiro, 1978 citado por Martín et al., 1987).

Uno de los cultivos comerciales más importantes del mundo lo constituye la caña de azúcar. Se cultiva en unos 16 millones de hectáreas y acumula más del 60 % de la producción mundial de azúcar. Los diez países más productores de caña de azúcar en el mundo son: Brasil, India, República de China, Tailandia, Pakistán, México, Colombia, Australia, Estados Unidos y Filipina (FAO, 2008).

Este cultivo suministra sacarosa para azúcar blanco o moreno, tiene melaza y se puede generar bagazo (Villazón-Gómez *et al.* (2017). También, según Tamayo (2022) permite obtener energía renovable, alimento animal, una amplia gama de tipos de alcoholes y de rones, tableros, levadura, papel sorbitol, caramelos, cera refinada, glucosa, jarabe de fructosa, fármacos, biofertilizantes y bioplaguicidas. Los residuos agrícolas generados por la caña se pueden utilizar para la alimentación animal, para reciclar nutrientes y como fuente materia orgánica dentro del agrosistema (SAGARPA, 2016).

Las perspectivas agrícolas, según OCDE-FAO (2020), indican que se espera que la producción de caña crecerá 1,1% al año, cifra ligeramente mayor que la del último decenio, y que Brasil, India y Tailandia contribuirán al 74% del cambio en el volumen de producción mundial, con el 49%, 18% y 6%, respectivamente.

En Cuba la situación es compleja, de los 156 centrales operativos antes de 1959 quedan 56, y solo 38 de ellos molieron en la cosecha 2020-2021. Las causas fundamentales se le atribuyen a la obsolescencia tecnológica, falta de fertilizantes y combustibles, baja disponibilidad financiera y otros factores que frenan el desarrollo de este sector estratégico. Esto ha provocado, la

paralización frecuente de la producción en los centrales y la baja calidad de la materia prima, fundamental en el cultivo de ciclo largo (Becquer, 2021).

La caña de azúcar como en cualquier otro cultivo se requiere de una adecuada preparación de suelo para lograr buena población, aspecto esencial con un alto peso en las variables económicas de la base productiva. Una buena calidad en la preparación de suelo crea condiciones físicas, biológicas, químicas, hidrofísicas y físico mecánicas en el medio a transformar que facilitan la brotación de las yemas y el desarrollo de las plantas (Betancourt et al., 2015).

La preparación de suelo ha sido ampliamente investigada en Cuba, lo que ha dado como resultado la definición de tres tecnologías (Santana et al., 1999; Cuellar et al., 2003; Betancourt et al., 2015; Crespo et al., 2013; Oliva et al., 2014): Laboreo Total con Inversión del Prisma (LCI), Laboreo Total sin Inversión del Prisma (LSI) y Laboreo Localizado (LL). Sin embargo, en la actualidad uno de los problemas está relacionado con la inadecuada selección, según las características edafoclimáticas, de la tecnología a aplicar.

Una de las soluciones a los problemas existentes se encuentra mediante el empleo de los escarificadores de suelo, por su amplia versatilidad multifuncional, facilidad de mantenimiento y reparaciones y adaptabilidad a las condiciones de Cuba (Gutiérrez et al., 2013; Crespo et al., 2013; Oliva et al., 2014; Betancourt et al., 2015), por lo que en la definición de las tecnologías de labranza es necesario, a partir de identificar las oportunidades y limitaciones de estos aperos, establecer el potencial existente, principalmente según las condiciones edáficas.

Problema científico: ¿Cuáles son las potencialidades para el empleo de la escarificación en la preparación de suelo para caña de azúcar en la EAA Uruguay?

Hipótesis: Si se identifican adecuadamente las condiciones de manejo de la EAA Uruguay es posible determinar las potencialidades en el empleo de la escarificación en la preparación de suelo para caña de azúcar.

Objetivo general: Determinar las potencialidades en el empleo de la escarificación en la preparación de suelo para caña de azúcar en la EAA Uruguay.

Objetivos específicos:

- Caracterización de las condiciones para la planificación de la preparación de suelo.
- Determinar el manejo agronómico para la preparación de suelo en la EAA Uruguay.
- Identificar el potencial para aplicar la escarificación en la preparación de suelo en función de las condiciones de investigación.

CAPÍTULO I. SITUACIÓN ACTUAL DEL TEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Origen e importancia de la caña de azúcar.

La caña de azúcar es una planta tropical que pertenece a la familia de las *Poaceae* y es de la tribu *Andropogoneae*. La caña de azúcar que actualmente cultivada es un híbrido muy complejo de dos o más de las cinco especies del género *Saccharum*: *S. barberi*, *S. officinarum*, *S. robustum*, *S. sinense* y *S. spontaneum*. Muchas de estas especies sufrieron cruzamientos naturales, originando un género muy diverso (Humbert, 1974).

La caña de azúcar original (*Saccharum officinarum* L.), es una poacea procedente de Nueva Guinea, se cultivó por primera vez en el Sureste Asiático y la India occidental, alrededor de 327 A.C. Se consideró un cultivo importante en el subcontinente indio. Fue introducido en Egipto en 647 D.C. y un siglo más tarde a España (755 D.C.) (SAGARPA – CONADESUCA, 2015 citado por InfoAgro, 2022). En el 1501, el primer campo de caña de azúcar fue puesto en producción y en el 1506 las primeras mieles fueron extraídas. En 1515 el primer trapiche fue construido y los primeros maestros de azúcar llegaron de las Islas Canarias (Fauconnier & Bassereau, 1975). Este cultivo llegó a Cuba hace 500 años, procedente de Santo Domingo, traído por navegantes españoles, que desembarcaron por punta de Güincho en la Bahía de Nuevitas, el 13 de mayo de 1516 (Días Barreiro, 1978 citado por Martín et al., 1987).

Esta planta se cultiva en unos 16 millones de hectáreas y acumula más del 60% de la producción mundial de azúcar. El 70% de la caña de azúcar se produce en países en desarrollo y en ellos se usa para consumo doméstico de azúcar, para exportarla o para convertirla en alcohol y utilizarla como biocombustible. Los diez países más productores de caña de azúcar en el mundo son: Brasil, India, China, Tailandia, Pakistán, México, Colombia, Australia, Estados Unidos y Filipinas (FOA, 2008).

Según Villazón-Gómez et al. (2017), este cultivo suministra sacarosa para azúcar blanco o moreno, también tiene melaza y se puede sacar bagazo. Hay otros aprovechamientos de mucha menor importancia, pero con alto valor como los compost agrícolas, vinazas, ceras, fibra absorbente, entre otros.

El aprovechamiento de la caña de azúcar en Cuba ha permitido obtener azúcar crudo y refino, energía renovable, alimento animal, una amplia gama de tipos de alcoholes y de rones, tableros, levadura, papel sorbitol, caramelos, cera refinada, glucosa, jarabe de fructosa, fármacos, biofertilizantes y bioplaguicidas (Tamayo, 2022).

Con respecto a los biocombustibles derivados de caña de azúcar, se espera que alcancen el 25% en 2029 (OCDE-FAO, 2020). El etanol para combustible se consume mezclado con gasolina o como etanol anhidro combustible puro, lo cual reduce la dependencia de la gasolina importada y disminuye las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Según Figueredo et al. (2023), en Cuba la cogeneración de energía eléctrica a partir de la agroindustria de la caña de azúcar se ha estado potenciando. En ese sentido, en la actualidad los 16 centrales azucareros que participan en la producción de meladura van a aportar electricidad al sistema electroenergético nacional.

Los residuos agrícolas generados por la caña se pueden utilizar para la alimentación animal, para reciclar nutrientes, como fuente materia orgánica dentro del agrosistema (SAGARPA, 2016); además, se emplean como cobertura vegetal del suelo para mantener la humedad, evitar la erosión y controlar plantas indeseables.

La caña de azúcar es fuente importante de trabajo, por ejemplo, en Brasil proporciona 1,15 millones de empleos directos. En otros países latinoamericanos, como Colombia, Paraguay y Perú, el sector de la caña de azúcar aporta un porcentaje significativo del ingreso de los productores en zonas rurales (OCDE-FAO, 2020).

1.2 Situación actual sobre la producción de caña de azúcar internacionalmente y en Cuba.

El azúcar mundial proviene fundamentalmente de la caña de azúcar (como promedio entre 70 y 85%), el resto se deriva de la remolacha azucarera (OCDE-FAO, 2020). Los principales consumidores de azúcar son India, China, Brasil y EEUU con consumo total de alrededor de 70 millones de toneladas de azúcar por año: casi el 50% del consumo mundial total, según la fuente anteriormente citada. Asimismo, el consumo global per cápita actual está en alrededor de 24

kg/persona y sigue creciendo de 1.5 a 2% por persona por año. Los principales exportadores de azúcar crudo son Brasil, seguido de Australia y Tailandia.

El precio medio anual del azúcar desde el año 2002 ha crecido casi un 150%, pasando de 0,17 USD / kg a 0,41 USD / kg (de Pedro, 2022). Se espera que los precios del azúcar sin refinar y del azúcar blanco permanezcan estables durante el periodo de proyección 2020-2029, en tanto que, en términos nominales, se prevé que los precios tendrán una tendencia ligeramente ascendente (+2% al año) (OCDE-FAO, 2020).

La producción agrícola de la caña de azúcar en Cuba en la actualidad tiene una situación compleja y muestra un decrecimiento anual sostenido. Según Tamayo (2022), la zafra 2022-2023 fue la producción más baja en más de cien años, se fabricaron, en números redondos, 480 mil toneladas de azúcar; 36 centrales molieron algo más de seis millones de toneladas de caña.

El presidente de las Organizaciones Superiores de Dirección Empresarial (OSDE) AZCUBA expuso como problemas que afectaron el incumplimiento de la zafra 2022-2023, en primer lugar, cuestiones externas como el bloqueo, la falta de combustibles y energía por períodos prolongados en etapas óptimas como marzo-abril, y la imposibilidad de financiar los insumos de la producción; y como problemas internos señaló la incapacidad organizativa y de gestión, la indisciplina técnica y tecnológica vinculada a la arrancada y terminación de los pelotones, la quema de la caña, pérdidas en cosechas, falta de rigor en el mantenimiento industrial, equipos rotos, entre otros temas (Figueredo et al., 2023).

Otro problema que incide directamente en la producción cañera del país es la despoblación de los campos, con una fuerte incidencia en las cañas nuevas. Esta deficiencia está influenciada por el incumplimiento de los objetivos de la preparación de suelo, y donde la inadecuada selección de la tecnología, las indisciplinas tecnológicas y un fuerte arraigo hacia el empleo de los medios tradicionales, como los arados y gradas de discos, son de los factores que más influyen y que requieren ser transformados (Betancourt et al., 2023). Si se considera que este cultivo representa historia, cultura e identidad para el país, además de que aporta un número importante de beneficios ya mencionados, resulta imprescindible recuperar la agroindustria azucarera para el sector y el país.

1.3 Tecnologías y equipos utilizados en la preparación de suelo para caña de azúcar en Cuba.

La caña de azúcar como en cualquier otro cultivo requiere de una adecuada preparación de suelo para lograr resultados favorables tanto en el fomento como en la reposición. En ese sentido, las exigencias en determinadas condiciones para la preparación del lecho de plantación pueden demandar el empleo de labores profundas, incluso hasta valores superiores a 50 cm (Dolores y Martín, 2011).

Según Betancourt et al. (2023), una buena calidad en la preparación de suelo crea condiciones físicas, biológicas, químicas, hidrofísicas y físico mecánicas en el medio a transformar, el suelo, que facilitan la brotación, el desarrollo del cultivo y la durabilidad de la cepa.

El concepto de calidad de la preparación de suelos ha evolucionado de tal forma que, en la labranza tradicional, se asocia a un suelo alterado y excesivamente mullido debido al elevado número de pases sobre el terreno; mientras que, en la labranza conservacionista, se refiere a lograr una buena cama de plantación con la mínima perturbar del suelo y el uso racional de equipos e implementos (Pérez et al., 2013).

Una preparación de suelo insuficiente, según Digonzelli et al. (2009), afecta negativamente la brotación de la caña de azúcar al no favorecer el contacto semilla-suelo, igualmente, una preparación excesiva resulta perjudicial por causar el deterioro de su estructura, lo que favorece el encostramiento superficial y obstruye los macroporos del suelo.

En Cuba, la preparación de suelo ha sido ampliamente investigada, lo que ha permitido definir tres tecnologías en función principalmente del proceso tecnológico de los equipos que participan en el laboreo primario: Laboreo Total con Inversión del Prisma (LCI), Laboreo Total sin Inversión del Prisma (LSI) y Laboreo Localizado (LL) (Gómez et al., 1997; Santana et al., 1999; Cuellar et al., 2003; Betancourt et al., 2015; Crespo et al., 2013; Oliva et al., 2014). En este proceso tecnológico es importante integrar en la planificación aspectos técnicos, económicos, energéticos y ambientales para lograr un equilibrio satisfactorio con un enfoque sostenible (Betancourt, 2022). Sin embargo, en la actualidad uno de los problemas está relacionado con la inadecuada selección, según las características edafoclimáticas, de la tecnología a aplicar.

En LCI se prepara toda la superficie con arados y gradas de discos tradicionales que invierten la capa de suelo laborada, en LSI se prepara todo el terreno pero no se invierte el prisma de suelo, debido a que emplea los escarificadores de acción total con o sin saetas y subsoladores, complementado por las gradas con diferentes órganos de trabajo para el mullido del suelo y en LL, se prepara sólo la franja donde se plantará el nuevo cultivo, por lo que el resto queda para las labores de cultivo posteriores. Una muestra de aperos utilizados en el laboreo primario por tecnologías se presenta en la figura 1.1.

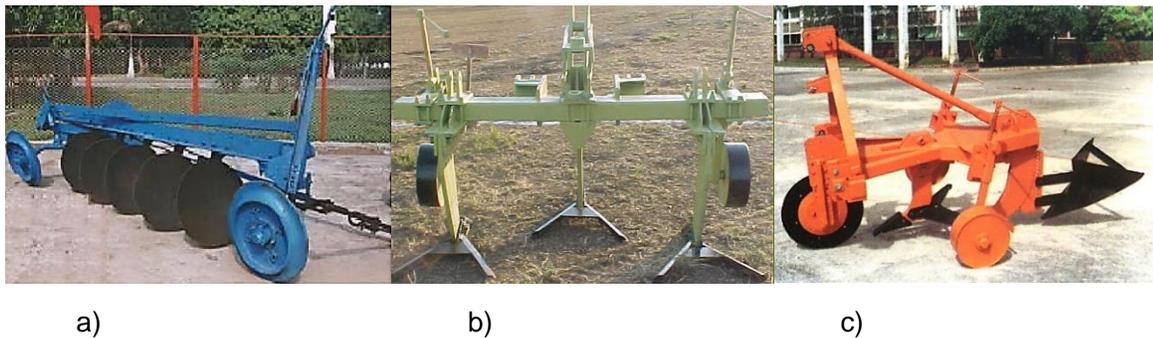


Figura 1.1. Implementos de laboreo primario utilizados por tecnologías de preparación de suelo. a) Arado de discos A-10000 para el LCI, b) M 250 en el LSI y c) C101 para el LL (Fuente: Betancourt et al., 2015).

En la agroindustria cañera de Cuba, el parque de equipos utilizados en la preparación de suelo lo integran diversas marcas y modelos (Betancourt et al., 2015). Los principales tractores e implementos utilizados y las labores que realizan se presentan en la Tabla 1.1. La adecuada combinación de estos equipos en las labores de acondicionamiento y en el laboreo primario y secundario, con la consecuente aplicación de los principios sostenibles de la agricultura determinan en gran medida el éxito en el desarrollo del proceso.

Según León y Ravelo (2005), Cerna (2007), Digonzelli et al. (2009), en la carta tecnológica de preparación de suelo se deben incluir las labores estrictamente necesarias para cada condición de manejo, de manera que garantice el mejor crecimiento del cultivo en aras de proteger el suelo y lograr producciones sostenibles.

Tabla 1.1. Equipos y labores utilizados en la preparación de suelos en Cuba (Fuente: Betancourt et al., 2015)

Fuentes energéticas	Implementos	Labores
<ul style="list-style-type: none"> • Komatsu D80 	<ul style="list-style-type: none"> • Grada de 14 000 lbs • Arados de discos AP-8/9 • Subsolador SP-280H 	Descorone, rotura, cruce, subsolado y grada pesada
<ul style="list-style-type: none"> • Belarus (modelos 1523 y 1221) • New Holland (modelos 7010 y 6013) • Maxxum Case 150; • YTO (modelos 1604 y 1402) • T-150K y XTZ 	<ul style="list-style-type: none"> • Arados de discos FD7 y AT-90 • Chisel • C101 • Tiller de 21 órganos • Gradas medianas y de alistamiento • Surcador triple y de base ancha 	Descorone, rotura, cruce, escarificado, grada media y surcado
<ul style="list-style-type: none"> • Belarus 1025 	<ul style="list-style-type: none"> • Arados de discos AFT 4, AFT 5, FD5 y A-10 000 • C101 • Grada de alistamiento • Surcador doble 	Rotura, cruce, grada, escarificado, alistamiento y surcado
<ul style="list-style-type: none"> • 1,4 t (Yumz y MTZ) 	<ul style="list-style-type: none"> • C101 • Arado ADI-3, Grada ligera de alistamiento y surcador doble 	Rotura, cruce, grada, y surcado

Las transformaciones tecnológicas no han sido suficientes y aún se diagnostican problemas complejos en la preparación de suelo, tales como: adquisición de medios que no se corresponden con las necesidades concretas del productor cañero, uso intensivo y generalizado de los implementos convencionales, aplicación inadecuada de labores o medios dirigidos a solucionar factores edáficos limitantes y la necesidad de implementar un sistema de control de la calidad más efectivo y sostenible (Betancourt et al., 2018).

Una solución a los problemas existentes en el campo del laboreo del suelo se encuentra mediante la creación de condiciones para aplicar las tecnologías LSI y LL, tanto en la superficie del terreno como en la adecuada preparación técnica de los aperos y del personal encargado de su operación. Estas tecnologías en el entorno donde se apliquen potencian los beneficios energéticos, económicos y medioambientales; lo cual está dado principalmente porque los aperos que sustentan el trabajo en el laboreo primario esta soportado en el empleo de los escarificadores.

1.4 Generalidades e importancia de la escarificación en la preparación del suelo.

Los escarificadores desde el punto de vista del sistema de acoplamiento al tractor se clasifican en montados (integrales), semisuspendidos y de arrastre. Sus órganos de trabajo (Brazos) se construyen con diferente geometría (figura 1.2): rectos, curvos, seminclinados e inclinados; rígidos, semirrígidos y vibratorios, también tienen la posibilidad de acoplársele a ellos diferentes aditamentos como saetas de diferentes dimensiones, rodillos desterronadores y surcadores (Betancourt, 2011).

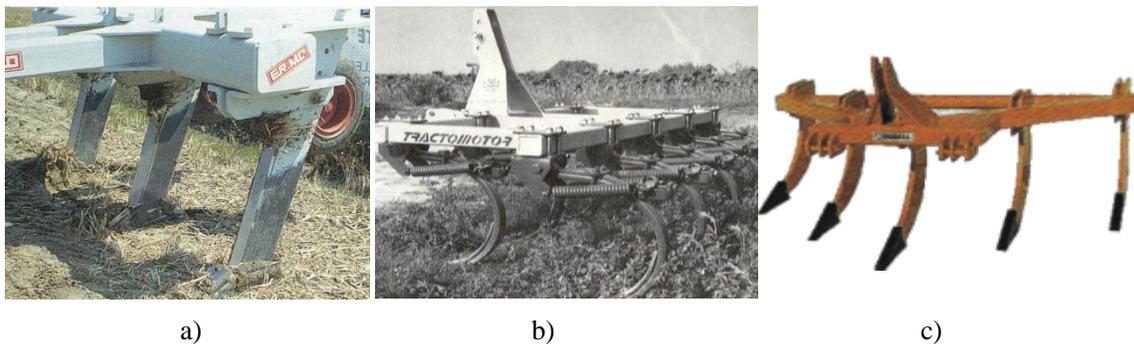


Fig. 1.2. Escarificadores. a). Rígido de brazos inclinados; b) Semirrígido de brazos curvos; c). Rígido de brazos curvos (Fuente: Betancourt, 2011)

La fuerza de tracción de los escarificadores depende de sus características de diseño, el tipo de suelo, de la humedad y compactación presentes en el momento de la prueba y la profundidad de trabajo (MAG-FAO, 1996). Según Casao et al., (1990), la resistencia traccional para órganos rígidos es de 13,73 kN/m/órgano. Otras investigaciones han reportado requerimientos de potencia promedio de 7,5 a 9 hp/órgano a 0,25 m de profundidad (MAG-FAO, 1996).

También se encuentran escarificadores con brazos inclinados en dos planos, nombrados “Paratill” o “Paraplow” (figura 1.3), que brindan buenos resultados en cuanto a la calidad de la labor y a la disminución de la resistencia a la tracción (Ortiz y Rössel, 2007; Pérez y Pla, 2008; Herrera et al., 2008, Cruz, 2014).

En Cuba, el escarificador de labranza total más utilizado en la preparación de suelo para el cultivo de la caña de azúcar ha sido el M 250, también es posible encontrar a escala productiva algunos subsoladores modificados para tales propósitos (SP-280M, Bayamo 81 y 95)

(Betancourt, 2011). El de laboreo localizado más ampliamente extendido ha sido el C101, el cual utiliza escarificadores con saetas en tándem y escalón con resultados favorables en los suelos con textura ligera y media (Gómez et al., 1999; Santana et al., 1999; Cuellar et al., 2003; Oliva et al., 2014).

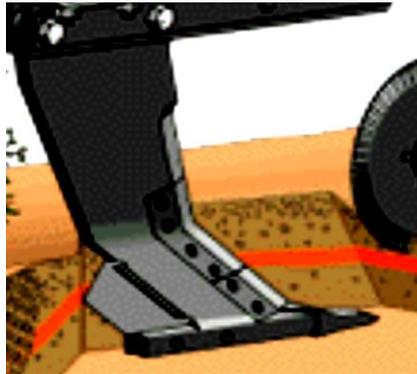


Figura 1.3. Órgano de trabajo Paratill (Fuente: DOLBI 2022)

Las nuevas tendencias en las tecnologías de preparación de suelos se sustentan en la mayoría de los casos en el empleo de órganos de corte vertical y horizontal, tipo escarificadores, que pueden poseer o no saetas (Leyva, 2009). Estos implementos son adecuados para la realización del laboreo mínimo, y cumplen los requisitos necesarios para la labranza de conservación. Respecto a los implementos tradicionales de discos utilizados en el laboreo primario tienen menos costos de adquisición, reparación y mantenimiento; además incrementan la productividad entre 25 y 30 %, disminuyen el gasto de combustibles y los costos entre 25 y 35 % (Gómez et al., 1997, Santana et al., 1999; IIMA, 2001; Ortiz y Rössel, 2007).

Los escarificadores constituyen una excelente alternativa en el laboreo de los suelos por su amplia versatilidad multifuncional, facilidad de mantenimiento y reparaciones y adaptabilidad a las condiciones de Cuba (Gutiérrez et al., 2013; Crespo et al., 2013; Oliva et al., 2014; Betancourt et al., 2015), por lo que en la definición de las tecnologías de labranza es necesario, a partir de identificar las oportunidades y limitaciones de estos aperos, establecer el potencial existente, principalmente según las condiciones edáficas.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Empresa Agroindustrial Azucarera (EAA) Uruguay, perteneciente al municipio Jatibonico de la provincia de Sancti Spíritus. La información correspondiente a la estructura y los factores limitantes de la EAA se tomaron de la base de datos de Ordenamiento Territorial (OT) (INICA Sancti Spíritus, 2023). Se consideró para el trabajo la campaña de preparación de suelo 2022-2023 (área de 6 814,8 ha, concentrada en 71 bloques).

Los agrupamientos genéticos de suelos predominantes en la empresa son los Pardos Sialíticos (42%), los Vertisoles (19%), los Ferralíticos (18%) y los Fersialíticos (17%), según la nomenclatura utilizada en la clasificación genética de los suelos del 2015 (*Hernández et al., 2015*).

2.1 Procedimiento para realizar la caracterización del área de investigación y la planificación de la preparación de suelo.

La caracterización de las condiciones de manejo y la planificación de las labores de la preparación de suelo se realizó mediante el SW LabraS, desarrollado por el Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA) (*Betancourt et al., 2018*). Las características y procedimientos de trabajo fueron expuestos por *Betancourt et al. (2019a)*, *Betancourt (2021)* y *Betancourt y Alonso (2023)*.

2.1.1 Metodología para la caracterización de las condiciones de manejo

Para la caracterización de las condiciones de investigación se consideraron tres parámetros fundamentales, los factores limitantes de suelo, las condiciones de la superficie del terreno y la textura del suelo. Los elementos integrantes de cada factor se presentan en la tabla 2.1 y fueron expuestos por (*Betancourt, 2021*).

2.1.2 Premisas para determinar las potencialidades de la escarificación de suelo

En esta investigación se denomina escarificación a las labores de preparación de suelo que laboran hasta los 30 o 40 cm de profundidad y no invierten el perfil de suelo laborado. Los escarificadores son los implementos diseñados para la escarificación, estos disponen de órganos de trabajo con brazos curvos, rectos, con ángulos en varios planos como el ParaPlow o ParaTill, dispuestos con o sin saetas para el laboreo; además, pueden trabajar toda la superficie del terreno o simplemente la franja donde se plantará el cultivo (Laboreo Localizado).

Tabla 2.1. Parámetros y sus factores integrantes para la caracterización de las condiciones

Parámetros	Descripción	Observaciones
Factor limitante	Profundidad efectiva, Salinidad Drenaje Rocosisdad Pedregosidad Pendiente Compactación	La no presencia de alguno de estos factores da lugar a los suelos <i>sin limitaciones</i> para la mecanización de la labranza de suelo
Condiciones de la superficie del terreno	Demolición Rotación Barbecho y/o bajo rendimiento Con Leñosas	Con leñosa significa la presencia en el campo de plantas arbustivas o arbóreas que requieren alguna labor de deforestación
Textura del suelo	Ligera Media Pesada	Según la textura correspondiente a los agrupamientos agroproductivos de suelo para Caña de Azúcar, clasificada por Betancourt et al. (2019a)

A partir de considerar las oportunidades y limitaciones del uso de los escarificadores reportadas por *Betancourt et al., (2015)* las premisas consideradas para determinar las potencialidades para la escarificación como labor en la carta tecnológica de la preparación de suelo en esta investigación son las siguientes:

1. Se recomienda si están disponibles en el inventario de implementos y además están activos.
2. No se recomienda en la rotura ni en el cruce en áreas con problemas de pedregosidad y rocosidad.

3. Se aplica para todas las texturas de suelo consideradas en esta investigación (ligera, media y pesada).
4. En áreas con residuos o malezas en la superficie que puedan ocasionar atoros sucesivos y afectar el rendimiento de la labor se recomienda solamente para el cruce.
5. No se recomienda en área con presencia de malezas leñosas.

2.2 Procedimiento para la planificación de las labores de la preparación de suelo.

El trabajo de planificación se desarrolló en 6 etapas: Instalación del SW, Actualizar codificadores, Introducir datos de proceso, Procesamiento de los datos, Concertación de las recomendaciones con el productor y Entrega de reportes.

La instalación del SW LabraS en la EAA y la actualización de los codificadores utilizados se desarrolló por el coordinador del servicio de labranza del INICA en el territorio.

Las labores de preparación de suelo utilizada en los codificadores del software LabraS emplean una nomenclatura específica en función de los objetivos y el proceso tecnológico (Tabla 2.2).

Los datos referentes a la preparación de suelo se brindaron por los especialistas del área agrícola de la EAA. La selección de los bloques a plantar en la campaña se realizó por el Servicio de Variedades y Semillas (*SERVAS*) del INICA.

Los parámetros considerados para las recomendaciones de preparación de suelo en la plataforma LabraS fueron los siguientes (Betancourt, 2021):

1. Se establecieron 169 alternativas tecnológicas posibles a recomendar, con tres variantes como promedio por alternativa.
2. Se empleó el método del tercer cuartil para definir las áreas con problema de pedregosidad y/o rocosidad. Se utilizó como criterio la presencia de dichos factores en un porcentaje mayor o igual al 25% del área.
3. Se recomendaron los equipos disponibles y considerados técnicamente aptos para el trabajo según criterios de los especialistas de maquinaria.
4. Se seleccionó el Costo (Pesos ha^{-1}) como criterio de explotación para la selección de las variantes y los agregados (tractor más implemento) en las labores recomendadas.

La concertación de los resultados con el productor se realizó mediante el informe *Recomendación Adecuada por Proceso Tecnológico* (Carta Tecnológica), por contener toda la información necesaria para el proceso tecnológico objeto de investigación.

El informe final con las recomendaciones se elaboró con la siguiente información: Factores limitantes para la labranza de suelo, Recomendación Adecuada por Proceso Tecnológico (Carta Tecnológica), Resumen Recomendación Adecuada (general por labor y especificada por bloque), Distribución anual de las labores y la Demanda de herbicidas para preparación de suelo.

Tabla 2.2. Nomenclatura, objetivos y equipamientos de las labores en el software LabraS (Fuente: *Betancourt, 2021*)

Labores	Objetivos	Equipamientos
Herbicida o Chapea	Crear condiciones en la superficie para el laboreo primario, (eliminación de malezas)	Avión, Asperjadoras, mochilas y chapeadoras
Descorone	Crear condiciones en la superficie para el laboreo primario (eliminación de los camellones y fragmentar la cepa)	Gradas medianas o pesadas
Rotura (Disco)*	Roturar entre 15 y 20 cm el suelo con aperos de disco	Arados de discos y gradas pesadas
Cruce (Disco)*	Profundizar entre 20 y 25 cm en el suelo con aperos de disco	
Rotura y Cruce (Cinzel)	Roturar el suelo con arado de cinzel con o sin saetas a profundidad hasta 45 cm	Chisel, escarificadores (como el M 250)
Descepe y rotura (Cinzel)	Roturar al hilo del surco con arado de cinzel con saetas	Escarificadores (M 250)
Subsolación (1er pase) Subsolación (2do pase)	Subsolar a profundidad mayor de 45 cm	Subsoladores
Mullir con grada	Fragmentar el suelo, eliminar malezas, emparejar la superficie	Gradas medias y pesadas, tiller (grada de pincho)
Grada alistamiento	Mullir el suelo, lograr uniformidad en el tamaño de los terrones, eliminar malezas y emparejar la superficie	Gradas ligeras

*Leyenda: * Es posible que con arados de discos de 32", como el AP-8/9 se superen las profundidades dadas en 5 cm, y por ende se alcancen los 30 cm en el perfil o más.*

(5)- Se refiere a si existirá cambio en la distancia de plantación actual del bloque. Se marca con una (X) si se empleará una distancia de plantación diferente a la actual del bloque.

(6)- Fecha en que será liberado el bloque (listo para preparar) (formato: día/mes/año).

(7)- Fecha en que se prevé que se plantará el bloque (formato: día/mes/año).

(8)- Marcar con una (X) si las malezas que predominan son monocotiledóneas o dicotiledóneas. Se pueden marcar ambas si predominan. Coincide con lo declarado en el SERCIM.

Una vez identificados los datos se procedió a capturarla en el SW LabraS mediante una funcionalidad diseñada para tal efecto (figura 2.1).

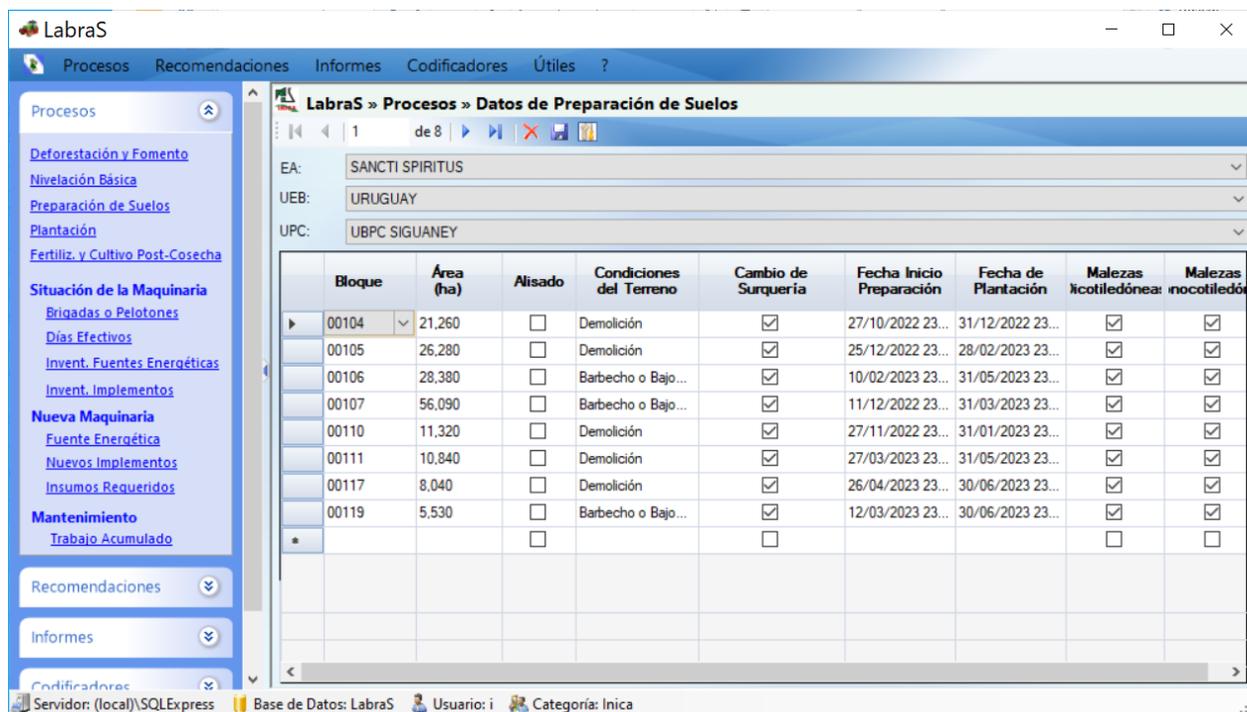


Figura 2.1. Ventana para la captura de los datos de preparación de suelo en el SW LabraS

2.4 Metodología empleada para identificar la situación de los pelotones de preparación de suelo en la EAA.

El estado actual de los pelotones para realizar las labores de preparación de suelo se identificó mediante el empleo del modelo establecido por el Servicio de Labranza de Suelo de INICA

(4)- Agregado o agregados que realizan las labores señaladas previamente (Marca del tractor más la del implemento).

(5)- Cantidad o número de agregados que realizan una misma labor o que integran el pelotón.

(6)-Período de disponibilidad de la maquinaria, la fecha enmarcada desde el inicio (desde) hasta el momento final (hasta).

(7)-Productividad o rendimiento de un agregado en la jornada⁻¹.

(8)-Gasto de combustible para realizar la labor especificada en el paso (3), en L ha⁻¹.

(9)- Costo de realizar la labor especificada en el paso (3), su pertenencia en pesos ha⁻¹.

Una vez identificada la información se procedió a capturarla en el SW LabraS mediante una funcionalidad diseñada para tal efecto (figura 2.2).

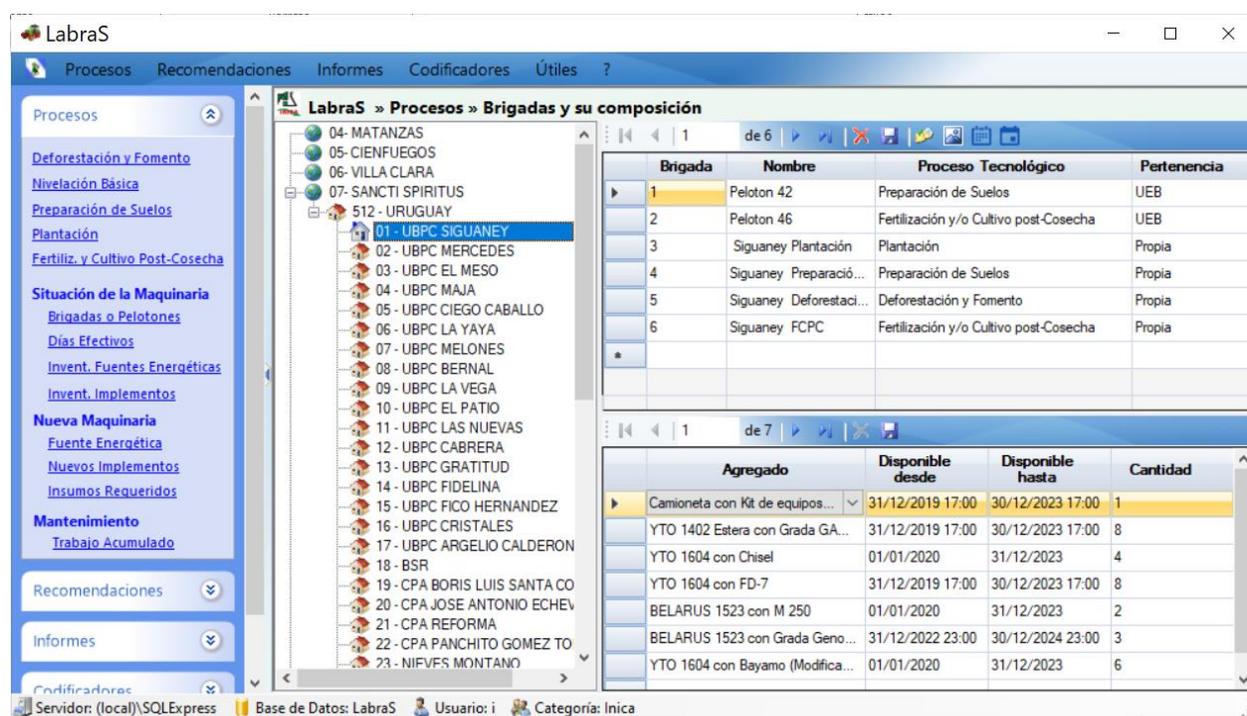


Figura 2.2. Ventana para la captura de la situación de los pelotones de labranza en el SW. Los agregados disponibles en la EAA y utilizados en la configuración de los pelotones en el SW LabraS para responder a las necesidades de las labores se presentan en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Fuente energética e implemento por labor en la preparación de suelo

AGREGADO (TRACTOR + IMPLEMENTO)	LABOR
MTZ-80 + Asperjadora UNIGREEN	Aplicación de herbicida
Belarus 1025.5 + Grada 24/26"	Descorone y Grada mediana
Belarus 1025.5 + C101	Descepe, rotura, profundización y surque

MTZ-80 + ADI-3	Rotura (Discos) ¹
BELARUS 1523 + AT-90	Rotura (Discos) ¹ y Cruce (Discos) ¹
BELARUS 1523 +Bayamo (Modificado)	Subsolación Media ³
	Profundización y surque (Saetas)
BELARUS 1523 +Chisel	Rotura (Saetas) ² y Cruce (Saetas) ²
Komatsu D80 + Grada 6363 kg	Grada pesada
BELARUS 1523 + Grada GAPCR (Aradora)	Descorone y Grada mediana
T-150K + Grada Rome	Grada mediana y ligera
T-150K + Alisador AF	Alisado
Leyenda: 1- Mediante aperos con órganos de trabajo de disco. 2- Con implementos que no invierten el prisma de suelo sin incluir la subsolación. 3- Se refiere a subsoladores para tractores de mediana potencia, es decir los que no están diseñados para trabajar en zonas con presencia de raíces, troncos, pedregosidad y rocosidad.	

Fuente: Elaboración propia

Es importante especificar que la labor de profundización y surque (Saetas) se utiliza como complemento a las alternativas de preparación de suelo en las condiciones donde sea posible. Esta permite corregir cualquier posible deficiencia o aumentar el perfil laborado justo en el área donde se plantarán los esquejes de caña, por la posibilidad de contar con la regulación para realizar la labor de profundización y conformar el surco simultáneamente. Para lograr lo antes expuesto, se dota al implemento de escarificadores con saetas de 400 mm de ancho de trabajo y órganos surcadores con regulación en el plano vertical (*Betancourt et al., 2023*). Un ejemplo de órgano de trabajo diseñado para realizar esta función se presenta en la Figura 2.3.



Figura 2.3. Escarificador con saetas de 400 mm y surcador para la labor de profundización y surque (Fuente: Betancourt et al., 2023)

2.5 Metodología para evaluar el impacto de las recomendaciones de planificación mediante la escarificación.

La evaluación del impacto se realizó mediante la comparación entre las potencialidades determinadas en la planificación con el SW LabraS para la escarificación y las que realmente se realizaron en condiciones de producción en la campaña. Este último se determinó mediante la información disponible en la base de datos del software LabAgri de la EAA (EAA Uruguay, 2023), la cual se encarga de registrar el área por labores real realizada en cada proceso agrícola.

La determinación del impacto energético y económico se basó en el ahorro promedio de combustible por el empleo de los escarificadores del 30% (10 L ha⁻¹) reportado por Betancourt et al. (2023) y el precio actual de 13,99 pesos L⁻¹ del combustible Diésel en el CUPET para las empresas.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de las condiciones de manejo de las áreas de preparación de suelo.

La evaluación de los factores limitante para la mecanización de la labranza (FML) por unidad mínima de manejo (el bloque de caña), en las 6 814,80 ha destinadas para la preparación de suelo, mostró un predominio de las áreas con problemas de Pedregosidad y rocosidad (47%), Mal drenaje (13%) y Pendiente (11%); sin embargo, las áreas sin limitaciones para la labranza se encontraron en el 28% (Figura 3.1).

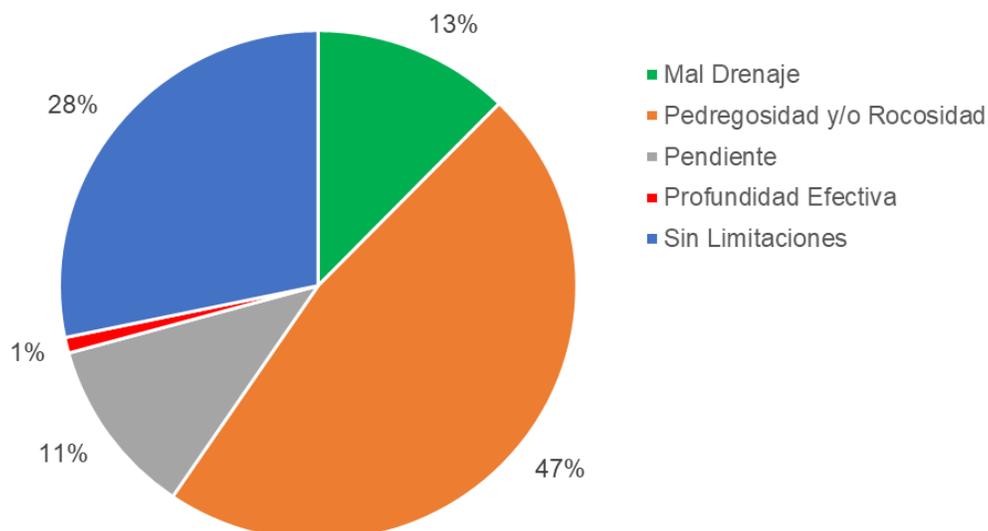


Figura 3.1. Porcentaje de participación del Factor más limitante de la labranza de suelo en las áreas a preparar (Fuente: Elaboración propia)

Es importante destacar que el alto nivel de pedregosidad y rocosidad se debió al criterio considerado del 25% como elemento para definir la existencia de este factor dentro de la unidad mínima de manejo (Método del tercer cuartil). La definición de este criterio es fundamental para facilitar el manejo de la maquinaria según el sistema organizativo actualmente empleado, el Pelotón, lo cual evita gastos innecesarios por desplazamiento o por roturas (Betancourt et al., 2015).

Por otra parte, a partir de los criterios expuestos por *Crespo et al. (2013)*, *Oliva et al. (2014)*, *Gutiérrez et al., (2013)* y *Betancourt et al. (2018)*, para las condiciones de la Empresa las recomendaciones de manejo agronómico en la planificación se tienen que dirigir a mitigar las limitaciones edáficas que afectan el desarrollo del cultivo, conforme a los factores identificados, y a su vez crear condiciones favorables en la formación de un lecho adecuado para la plantación.

Las potencialidades para la escarificación según el criterio del FML están dadas por el 52.8% del área (3600.8 ha). Se exceptúan las áreas con problemas de rocosidad y pedregosidad, que exigen los aperos con órganos de trabajo de discos, que superan la presencia de estos obstáculos debido al tipo de proceso tecnológico que realizan (*Crespo et al., 2013; Oliva et al., 2014; Betancourt et al., 2020*).

La evaluación de la textura del suelo para las condiciones de manejo, según la clasificación dada por Betancourt (2021), indicó un predominio de la textura media con el 40% del área a preparar, seguido del 37% para los suelos pesados y el valor restante de porcentaje lo ocuparon los ligeros (23%) (Figura 3.2).

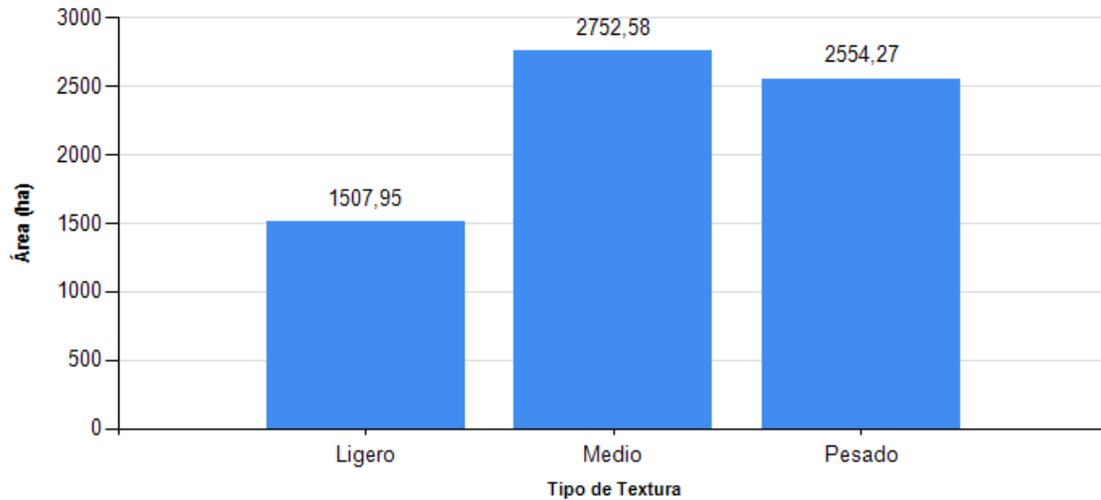


Figura 3.2. Textura del suelo en las áreas a preparar (Fuente: Elaboración propia)

Desde el punto de vista de la labranza, un predominio de suelos con textura media y ligera (60%) muestra condiciones favorables para el laboreo, a partir de que se disminuye la demanda tradicional, se reduce el consumo de combustible, se puede acortar el plazo entre labores y el tiempo total de la preparación, lo cual coincide con lo planteado por *Santana et al. (1999)*, *Oliva et al. (2014)* y *Betancourt et al. (2015)*.

El tipo de textura presente no constituye una limitante para aplicar la escarificación. Su aplicación en las variantes de laboreo total o localizado no solo han estado dirigida a los suelos medios y ligeros (*Gómez et al., 1997; Santana et al., 1999; Cuéllar et al., 2003; Crespo et al., 2013; Oliva et al., 2014*), también en suelos pesados se han reportados resultados positivos (*Leyva 2009, Betancourt 2011, Gutiérrez et al., 2013*).

Las condiciones sobre la superficie del terreno mostraron predominio de las áreas de demolición (52%), sin embargo, al no existir áreas en rotación, la presencia de Barbecho o de caña de muy bajo rendimiento agrícola no cosechada, que incluyen las leñosas, se encontraron elevadas, en un 48% (3278.46 ha) (Figura 3.3).

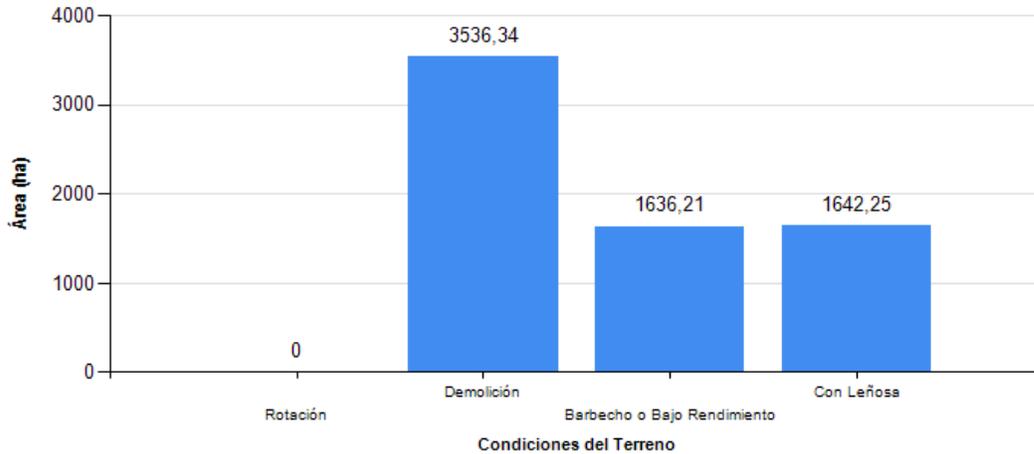


Figura 3.3. Condiciones de la superficie del terreno (fuente: Elaboración propia)

La situación existente por el alto porcentaje de las áreas con leñosas y en barbecho o bajo rendimiento complejiza la planificación de la preparación de suelo, al requerir el empleo de equipos pesados y de labores adicionales para acondicionar el área, lo cual incrementa los gastos asociados por la demanda de insumos como herbicidas, combustibles, entre otros. Además, constituye una fuerte limitación para el empleo de los escarificadores, por cuanto encuentra barreras asociadas a la presencia de troncos, raíces y otras partes vegetales como los tallos de caña sin cosechar (*Crespo et al., 2013; Betancourt et al., 2015*), lo que indica que su potencial desde este punto de vista se centra principalmente en las áreas de demolición. En todos los casos, su identificación e inclusión dentro de los algoritmos del software LabraS, crea las condiciones para realizar una planificación más precisa, donde las más variadas y complejas condiciones encuentren una solución para el manejo agronómico.

3.2 Recomendaciones de planificación para la preparación de suelo con el Sistema Automatizado LabraS.

Un ejemplo de recomendación, a manera de carta tecnológica, emitido por el software LabraS para el bloque 00106, perteneciente a la UBPC Siguaney se presenta en la figura 3.4. La recomendación muestra la identificación del bloque a preparar y su área, la alternativa tecnológica y su variante, la fecha de ejecución que incluye el plazo entre labores, la secuencia de

operaciones, los agregados a emplear y los principales indicadores de explotación en función del área a laborar (rendimiento, gasto de combustible y costo).

 INICA Servicio de Labranza de Suelo										
Recomendación Adecuada por Proceso Tecnológico										
Provincia SANCTI SPIRITUS										
EAA URUGUAY										
Proceso Tecnológico: Preparación de Suelos										
Bloque	Área (ha)	Alternativa Tecnológica	Variantes	Labores	Fecha de Inicio	Fecha de Terminación	Agregados	Norma (ha/jornada)	Gasto Combustible (L)	Costo (pesos)
b0106	22,000	118-Preparación de suelo medio o pesado con pedregosidad y/o rocosidad en barbecho o bajo rendimiento.	Variante 2	Desbroce	10/02/2023	17/02/2023	Komatsu con Cadena	3,0	660,0	19800,0
				Colecta y requema de rastros	18/02/2023	20/02/2023	1,4 t (MTZ y YUMZ) con Carreta	10,0	264,0	3300,0
				Grada pesada	21/02/2023	21/02/2023	Komatsu con Grada 14 500 lbs	16,0	532,4	18172,0
				Subsolación Pesada	23/02/2023	24/02/2023	Komatsu con SP 280	5,7	620,4	18424,8
				Subsolación Pesada	26/02/2023	27/02/2023	Komatsu con SP 280	5,7	620,4	18424,8
				Grada pesada	28/02/2023	28/02/2023	Komatsu con Grada 14 500 lbs	16,0	532,4	18172,0
				Grada ligera	01/03/2023	01/03/2023	BELARUS 1523 con Grada Genovesa	12,0	193,4	12214,4
Total				7			-	-	3423,0	108508,0

Figura 3.4. Recomendación para preparación de suelo por bloque (Carta Tecnológica) (Fuente: Elaboración propia)

Según Prado Fernández (2023), la carta tecnológica es importante para crear una base sólida de planificación de los recursos en la agricultura, de ahí la necesidad de realizarla con la mayor precisión posible. Asimismo, en Cuba, el tema de la planificación tiene una importancia especial, a partir de que el actual proceso de actualización de su modelo económico se sustenta en el principio de que la planificación constituya la base sobre la que se definan las políticas económicas que se implementan (Cardoso et al., 2016).

Un manejo agronómico a manera de carta tecnológica como el presentado en esta investigación, con tiempo de antelación y la posibilidad de realizar las correcciones cuando se estime conveniente, por estar el proceso automatizado, contribuye favorablemente al desarrollo del proceso de producción agropecuaria en el país.

Las labores recomendadas con el SW LabraS muestran un manejo adecuado en la preparación de suelo para las condiciones de la empresa (figura 3.5). El manejo agronómico contempló 12

labores y su área correspondiente (área planificada para el trabajo), que incluyen el acondicionamiento de las áreas, el laboreo primario y el secundario.

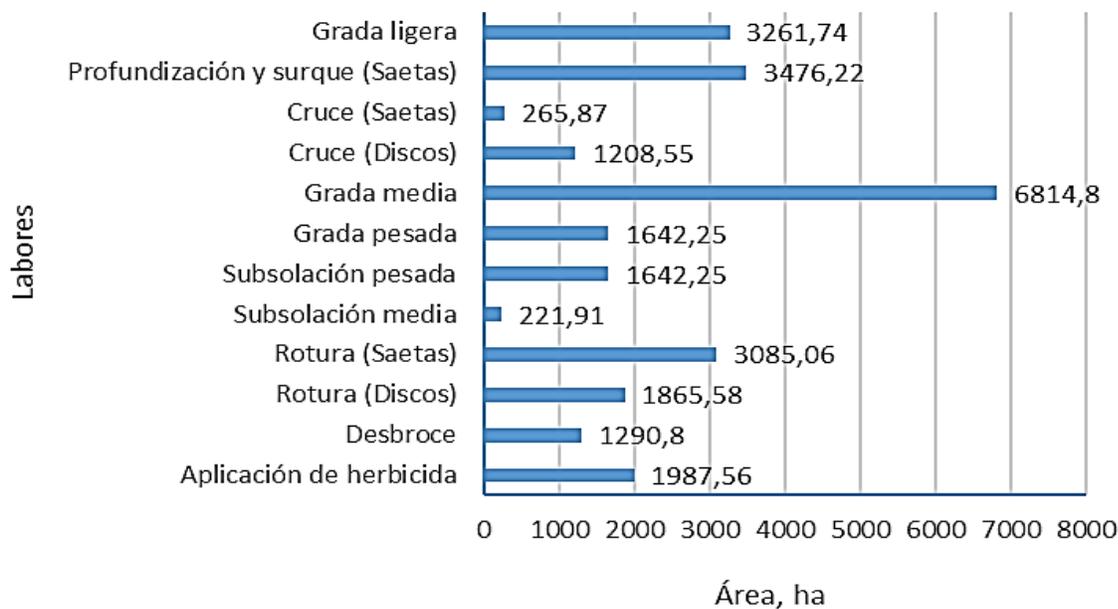


Figura 3.5. Labores recomendadas para preparación de suelo
(Fuente: Elaboración propia)

Las labores de acondicionamiento están dadas por la aplicación de herbicida y el desbroce, en un nivel de 29% y 19%, respectivamente. En la primera se justifica porque coincide con el área en barbecho o bajo rendimiento, sin leñosa, más una pequeña parte de la demolición con plantación tardía, lo cual requiere de herbicidas para controlar el desarrollo de las cepas a demoler; y para la segunda se centró en los bloques con leñosas que requieren labores mecanizadas mediante pases de Komatsu con Cadena. Según *Betancourt et al. (2015)*, un buen acondicionamiento de las áreas es vital para tener éxito en la preparación de suelo, lo que significa cumplir los indicadores de calidad, el plazo entre labores y los gastos de insumos.

En el laboreo primario, las operaciones menos profundas estuvieron representadas por la Rotura (Disco) y Rotura (Saeta), en el 27% y el 45%, respectivamente; lo que se corresponde con las condiciones existentes en la empresa, tanto debajo de la superficie por el FML predominante como por las condiciones del terreno. Las labores profundas planificadas se centraron en la subsolación media y subsolación pesada, para 3% y 24%, respectivamente. La primera se dirigió

a los suelos con problema de drenaje interno y sin presencia de obstáculos y la segunda netamente a los bloques con problemas de leñosas.

La escarificación se recomendó en general, a partir de considerar la información como área-labor, para 6827,14 ha. Se planificó en la labranza total del suelo, como rotura (Saetas) y cruce (Saetas), con 3085.05 ha y 265.87 ha, respectivamente; y en la variante de laboreo semi-localizado como profundización y surque (Saeta) con 3476,22 ha. A partir de que no existieron equipos disponibles en el parque de máquinas para el laboreo localizado no se recomendó esta tecnología. Es importante especificar que se planificó más área en rotura(Saetas) respecto a cruce (Saetas) debido a que se recomendó la alternativa tecnológica de laboreo mínimo total basada en tres operaciones: rotura (Saetas), grada media y profundización y surque (Saetas), la cual excluye al cruce como labor dentro del proceso tecnológico.

Según *Gómez et al. (1997)*, *Gutiérrez et al. (2013)*, *Crespo et al. (2013)*, *Oliva et al. (2014)* y *Betancourt (2011)*, la aplicación de la escarificación incorpora beneficios medioambientales, tecnológicos, energéticos y económicos, de ahí la importancia de concebirla desde la planificación, lo que incide favorablemente sobre la implementación de principios de sostenibilidad en la agricultura (*Bihari et al., 2021*; *Hussain et al., 2021*; *FAO-GTIS, 2015*). Así mismo, se evitó su aplicación en áreas que presentan limitaciones por rocas y piedras y con esto la ocurrencia de roturas que pudieran invalidar técnicamente al implemento.

En el laboreo secundario se recomendaron las gradas pesadas, medianas y ligeras en función del tipo de alternativa tecnológica aplicada. Las gradas pesadas (1642.25 ha) complementan el trabajo en la Subsólación pesada, para el laboreo en las condiciones complejas del terreno por la existencia de malezas arbustivas como *Dichrostachys cinerea* (Marabú), *Albizia procera* (Algarrobillo) y *Leucaena leucocephala* (Leucaena). La grada media se recomendó para el 100% del área planificada para la preparación de suelo, y la ligera, en el 48% del área (3261.74 ha), dirigida hacia las condiciones de suelos de textura media y pesada donde no se aplicó la labor de profundización y surque (Saeta). Estas labores crean las condiciones de rugosidad necesarias para asegurar una adecuada conformación del surco y tape de la caña (*Crespo et al., 2013*; *Oliva et al., 2014*; *Betancourt et al., 2020*).

Los resultados obtenidos validan los criterios ISMACE utilizado en los algoritmos del SW LabraS para la adecuada selección de labores en la preparación sostenible de suelo en caña de azúcar establecidos por la FAO (FAO, 2019); además, cumplen con el manejo agronómicos del

cultivo según lo establecen el instructivo y otros manuales definidos en el país (Crespo et al., 2013; Gutiérrez et al., 2013; Oliva et al., 2014; Betancourt et al., 2015; Betancourt et al., 2020).

Los resultados satisfactorios con el empleo del SW LabraS en la planificación coinciden con otras investigaciones realizados en Cuba para diferentes condiciones edafoclimáticas y procesos tecnológicos (Álvarez, 2018; Betancourt et al., 2019b; Pérez, 2018; Villavicencio, 2021; Sánchez, 2021; Valerón, 2022).

Es importante resaltar el hecho de disponer del trabajo con la información en formato digital porque garantiza el ajuste del proceso en el momento que sea requerido por el productor con la mayor brevedad posible, aspecto que coincide con lo planteado en otras investigaciones (Sotto et al., 2006; Martínez-López et al., 2014; Pereira et al., 2015; de las Cuevas et al., 2015; Álvarez et al., 2015; Pérez, 2018).

3.3.1 Definición de las labores recomendadas a nivel de bloque.

Los bloques donde se planificaron las labores de escarificación se presentan en las Tabla 3.1 y 3.2. Las restantes labores de preparación de suelo por unidad mínima de manejo se muestran en el anexo 1.

Es importante señalar que, en la información de base para la planificación, no se consideró el trabajo en bloques compactos, y se encuentra un alto número de ellos con área de 10 ha o inferior, lo que significa que en muchos casos lo que está previsto para la preparación de suelo es uno o dos campos del bloque. Esto tiene un efecto negativo sobre el aprovechamiento de los equipos pues el pelotón tiene que trasladarse a grandes distancias para trabajar una sola jornada o en algunos casos no llega ni a completarla. Se recomienda en la medida que lo faciliten las condiciones del bloque concebir el trabajo de planificación de forma compacta (Pérez Izquierdo et al., 2014).

Tabla 3.1. Bloques recomendados para la escarificación en las labores de rotura (Saetas y cruce(Saetas))

Rotura (Saetas)								Cruce (Saetas)	
Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha
0105	26,28	0512	30,70	1506	27,04	0514	41,93	0303	32,25
0110	11,32	0514	11,06	1507	37,75	0515	42,52	0935	83,08
0111	10,84	0515	57,40	1508	43,87	0527	43,12	0936	67,95
0231	24,80	0527	40,15	1511	52,42	1915	8,45	1917	68,71
0301	20,98	0529	14,70	1517	34,95	2007	13,12	2017	13,88
0304	15,19	0531	52,85	1532	32,45	2011	54,19		
0307	12,70	0603	22,71	1534	22,36	2012	6,57		
0308	28,20	0609	26,22	1535	69,39	2014	29,28		
0311	55,50	0611	47,57	1602	16,61	2019	15,61		
0312	48,47	0612	14,14	1606	29,40	2106	8,28		
0318	48,89	0613	9,59	1607	36,77	2110	18,18		
0321	16,32	0614	7,12	1622	5,70	2111	12,97		
0324	36,10	0623	37,36	1625	66,09	2117	39,96		
0326	19,25	0628	14,12	1701	57,98	2118	66,67		
0405	10,88	0631	30,43	1703	8,06	2119	8,25		
0412	15,04	0639	36,73	1705	19,74	2121	9,12		
0413	32,90	0719	68,17	1709	5,70	2123	25,47		
0415	23,39	0721	47,92	1710	14,14	2124	16,85		
0417	37,18	0805	4,70	1711	32,28	2126	20,80		
0418	5,60	0838	32,50	1712	26,21	2205	6,48		
0419	28,36	0839	44,93	1724	31,01	2206	12,88		
0434	13,64	0840	32,99	1731	12,76	2302	23,95		
0501	29,67	0933	41,90	1733	2,93	2305	19,94		
0504	20,35	1003	20,70	1734	3,39	2307	32,44		
0508	14,76	1229	61,06	1801	75,95	2312	56,01		
0509	60,49	1230	57,98	1904	34,11				
0511	19,47	0512	41,33	1914	19,67				

Estas labores se realizan mediante un servicio prestado desde la EAA hacia las unidades productoras, por lo que su identificación con tiempo de antelación facilita el desplazamiento del pelotón (*Betancourt et al., 2019a*); además, reduce las pérdidas de tiempo y los gastos por traslado.

Tabla 3.2. Bloques recomendados para la escarificación en la labor de Profundización y surque (Saetas)

Bloques	Área, ha						
0105	26,28	0511	19,47	1105	36,77	1622	5,7
0110	11,32	0512	30,7	1114	52,05	1625	66,09
0111	10,84	0514	11,06	1115	65,23	1701	57,98
0117	8,04	0515	57,4	1116	54,09	1703	8,06
0231	24,8	0527	40,15	1117	41,19	1705	19,74
0301	20,98	0529	14,7	1229	61,06	1709	5,7
0304	15,19	0531	52,85	1230	57,98	1710	14,14
0307	12,7	0603	22,71	1231	105,68	1711	32,28
0308	28,2	0609	26,22	1236	24,66	1712	26,21
0311	55,5	0611	47,57	1302	18,78	1724	31,01
0312	48,47	0612	14,14	1304	35,92	1731	12,76
0318	48,89	0613	9,59	1308	15,44	1733	2,93
0321	16,32	0614	7,12	1317	16,35	1734	3,39
0324	36,1	0623	37,36	1318	15,02	1801	75,95
0326	19,25	0628	14,12	1402	43,61	1904	34,11
0405	10,88	0631	30,43	1413	34,64	1914	19,67
0412	15,04	0639	36,73	1506	27,04	1915	8,45
0413	32,9	0719	68,17	1507	37,75	2007	13,12
0415	23,39	0721	47,92	1508	43,87	2011	54,19
0417	37,18	0805	4,7	1511	52,42	2012	6,57
0418	5,6	0838	32,5	1517	34,95	2014	29,28
0419	28,36	0839	44,93	1532	32,45	2019	15,61
0434	13,64	0840	32,99	1534	22,36	2106	8,28
0501	29,67	0846	12	1535	69,39	2110	18,18
0504	20,35	0933	41,9	1602	16,61	2111	12,97
0508	14,76	1003	20,7	1606	29,4	2117	39,96
0509	60,49	1004	20,28	1607	36,77	2118	66,67
2119	8,25	2124	16,85	2206	12,88	2307	32,44
2121	9,12	2126	20,8	2302	23,95	2312	56,01
2123	25,47	2205	6,48	2305	19,94		

Por otra parte, esta información facilita la determinación de la carga de trabajo del pelotón en función de las zonas de trabajo creadas en la empresa. Además, conforma las bases para realizar los análisis de explotación de forma oportuna para tomar las medidas pertinentes (*Betancourt et al., 2015*). En ese sentido, si hay exceso de demanda se resuelve con alquilar de maquinaria o

desplazar las fechas de las labores. Si hay déficit de trabajo, en cambio, se pueden planificar actividades en otros procesos (González y Tzukurov, 1986).

3.3 Impacto de la aplicación de la escarificación en condiciones de producción.

A pesar del alto potencial de áreas para la escarificación y la delimitación por labores concebidas en la planificación, en la campaña de preparación de suelo no se aplicó en ninguno de los casos (figura 3.6).

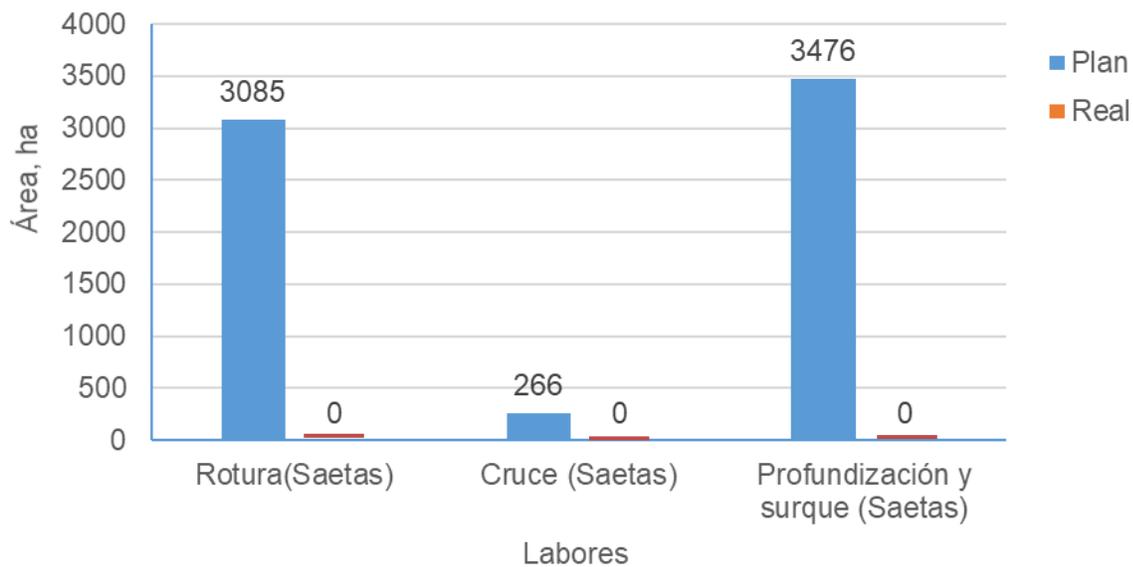


Figura 3.6. Plan y real de la aplicación de la escarificación en la empresa
(Fuente: Elaboración propia)

Si se toma en cuenta el ahorro energético promedio de 10 L ha⁻¹ por el empleo de los escarificadores (Betancourt et al., 2023), para las condiciones de la EAA Uruguay donde la escarificación se recomendó para 6827,14 ha, entonces se dejó de economizar 68,3 mil L de combustible diésel, lo que equivale a 955.1 mil pesos en CUP.

Por otra parte, se dejó de incorporar otros beneficios medioambientales, agronómicos y tecnológicos, reportados por el autor antes mencionado, tales como como: reducción de la erosión del suelo, al mantener residuos vegetales sobre la superficie; eliminación de capas compactas creadas por el uso continuado de medios tradicionales, facilitando la penetración de las raíces, del aire y el agua al interior del suelo con lo que se asegura un mejor aprovechamiento del recurso hídrico; menor movimiento de los horizontes del suelo por no invertir el prisma, logrando mayor conservación de su estructura; aumento del rendimiento operacional, en alrededor de 2,5-3 ha por jornada; creación de mejores condiciones para la plantación de la caña por trabajar a profundidades entre 40 y 45 cm, lo que asegura la realización de un surco en las condiciones que se permita entre 30 y 35 cm; reducción del plazo entre labores de preparación de suelo, laboreo del suelo en un rango más amplio de humedad con menor efecto negativo en su estructura y mejor control de malezas reproducidas por rizomas, al fraccionar menos esa parte de la planta se reduce su multiplicación.

CONCLUSIONES

1. Las condiciones de investigación para la planificación de la preparación de suelo se caracterizaron por predominar las áreas con problemas de Pedregosidad y rocosidad (47%), los suelos de textura media (40%) y las condiciones del terreno sobre demolición (52%).
2. La planificación de la preparación de suelo para la EAA Uruguay se realizó satisfactoriamente mediante el SW LabraS y se correspondió con los requerimientos agronómicos de la caña de azúcar en las condiciones de investigación.
3. Se identificó un potencial para la aplicación de la escarificación en la preparación de suelo de 6827.14 ha, expresado en las labores de rotura (Saetas), cruce (Saetas) y profundización y surque (Saeta) con 3085.05 ha, 265.87 ha y 3476,22 ha, respectivamente.
4. En la campaña no se aplicó la escarificación en ninguna de las labores planificadas por lo que se dejó de incorporar por concepto de ahorro de combustible diésel un aporte energético de 68,3 mil L y económico de 955.1 mil pesos en CUP.

RECOMENDACIONES

1. Implementar la escarificación en la preparación de suelo para caña de azúcar en la EAA Uruguay.
2. Planificar la preparación de suelo en bloques compactos para lograr mayor aprovechamiento de la maquinaria

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, L. (2018). *Implementación del Sistema Automatizado LabraS en la toma de decisiones para la preparación de suelo en caña de azúcar* [Tesis de Pregrado, Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas].
- Becquer, L. (2021). <https://www.swissinfo.ch/spa/cuba-az%C3%BAcar--cr%C3%B3nica-cuba-en-la-dif%C3%ADcil-batalla-por-recuperar-su-emblem%C3%A1tica-industria-azucarera/46589350>
- Betancourt, Y. (2011). *Escarificación localizada primaria para el perfeccionamiento de la tecnología de preparación de suelos arcillosos pesados con superficie acanterada dedicados a la caña de azúcar* [Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias.] Santa Clara, Cuba.
- Betancourt, Y. (2021). *Servicio de Labranza de suelo. Manual de Procedimientos para la Implementación*. 88 pp. [Manuscrito sin publicar]. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Betancourt, Y. y Alonso, D. (2023). *SW LabraS versión 3.0.1.0. Manual de usuario*. 74 pp [Manuscrito sin publicar]. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Betancourt, Y., Alonso, D., González, A. B., la Rosa, A. J. (2019a). *Sistema automatizado LabraS para la toma de decisiones en la planificación de la labranza de suelo en caña de azúcar*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28 (4), 89-100. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542019000400009&lng=pt&nrm=iso&tlng=es
- Betancourt, Y., D. Socarras, S. Guillen; L. Bou; O. Rivera, J. Jerez; R. Ferreira y J. C. González. (2015). *Manual técnico para el jefe de pelotón de preparación de suelo*. *Revista Cuba & Caña*, Suplemento especial (1): 61 pp.
- Betancourt, Y., Guillén, S., Rodríguez, J. F., Alfonso, A., Sánchez. R. (2018). *Servicio para la asistencia técnica en la labranza de suelos dedicados a caña de azúcar*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27 (2), 1-13. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542018000200002
- Betancourt, Y., Pérez, D., Álvarez, A. (2019b). *Asistencia técnica de la labranza de suelos en el control de arvenses en la reposición de caña de azúcar*. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9 (3), 10-15. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1137>

- Betancourt, Y., Gallego, R., Martínez, R., Oliva L. M. (2023). Capítulo V. Preparación de suelos, 35 pp. (Manuscrito sin publicar). Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).
- Betancourt, Y.; S. Guillén y D. Socarras. (2020). *Preparación de suelos para caña de azúcar*. Manual para el productor cañero. 75 pp. (Manuscrito sin publicar). Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA).
- Bihari, B., Kumari, R., Padbhushan, R., Kumar, R., Kumar, G., Kumari, S., Kumari, M. (2021). Management of crop residue for enhancement of crop productivity and nutrient cycling. *The Pharma Innovation Journal*, 10(9), 495-502. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue9S/PartH/S-10-9-38-813.pdf>
- Cardoso, R., Torres, C. C., Menoya S. (2016). *La planificación del sector agropecuario como eje de la estrategia de desarrollo provincial en Pinar del Río*. *Revista de Cooperativismo y Desarrollo*. 4 (2), 159-168. <http://coodes.upr.edu.cu/index.php/coodes/article/view/136/278>
- Casao JR., A.G. Araujo; G.H. Merten; J.C.Henklain; R.G. Monice Filho. (1990). *Preparo do solo de elementos da planejamento da mecanização agrícola*. IAPAR, Londrina, 111 pp.
- Cerna, L., A. (2007). *Agrotecnia sostenible*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Perú, 295pp. <https://static.upao.info/descargas/7bba2c13845f7cbff1ac37d699b531ff4d7fd7fc3ab69453e77240ca42497cf2ba31a82054f3cd5be6eed565f694f6271d7ed63bbf52ca36d9e240b62c8cd89a/agrotecnia.pdf>
- Crespo F. R., Pérez, H. I., Rodríguez, I., García, I. (2013). Agronomía. En, H. I. Pérez, I. Santana, I. Rodríguez. *Manejo sostenible de tierra en la producción de caña de azúcar*. (119-146). Ediciones Ama.
- Cuéllar I., de León M. E., Gómez A., Piñón D., Villegas, R., Santana, I. (2003). *Caña de azúcar*. Paradigma de sostenibilidad. Capítulo 2. *Tecnologías de preparación de suelos*. 1^{era} ed. La Habana, Cuba. Editorial PUBLINICA. p. 25-35.
- Cruz, M. (2014). *Diseño de un nuevo apero para la labranza conservacionista en caña de azúcar*. [Tesis de Maestría, Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas].

- Dolores, H.; A. Martin. (2011). Guía Técnica. Curso-Taller. *Manejo Integrado del cultivo de caña de azúcar*, UNALM-Perú, 34 pp. .
https://www.agrobanco.com.pe/pdfs/capacitacionesproductores/Cania/MANEJO_INTEGRADO_DEL_CULTIVO_DE_CANA_DE_AZUCAR.pdf
- De Pedro, L. (2022). *Ficha sector. Azúcar en Cuba 2022*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en La Habana. <https://www.icex.es/es/quienes-somos/donde-estamos/red-exterior-de-comercio/CU/documentos-y-estadisticas/estudios-e-informes/visor-de-documentos.ficha-sector-azucar-cuba-2022.doc060202211>
- Digonzelli, P. A, Giardina, J. A., Casen, S. D., Alonso, L. G. P, Fernández de Ultivarri, Scandaliaris, J. , Romero, E. R., Tonatto, M. J. y Leggio, F. (2009) *Manual del cañero*. Capítulo 5. *Plantación de la caña de azúcar*. Recomendaciones Generales. Estación Experimental Agroindustrial OBISPO COLOMBRES. Tucumán, Argentina. p.57-65.
https://www.researchgate.net/publication/263075010_CAPITULO_5_PLANTACION_DE_LA_CANA_DE_AZUCAR_Recomendaciones_generales
- DOLBI. Subsoladores PARATIII. *La solución ideal para una óptima descompactación y fertilización*. [en línea]. Disponible en:
<https://www.dolbi.com.ar/data/uploads/prods/Subsoladores/Subsolador%20para%20Cana%20de%20Azucar/DOLBI%20SA%20folleto%20Subsoladores%20Paratill.pdf>
- INICA Sancti Spíritus. (2023). *Base de Datos de Ordenamiento Territorial de la EAA Uruguay 2023*. [Archivo Excel sin publicar].
- FAO y GTIS. *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) (2015) Resumen Técnico (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo)*, Roma, Italia. ISBN 978-92-5-308960-4, 79 pp.
- FAO. 2019. *El apoyo de la FAO para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América del Sur – Panorama*. Santiago de Chile. ISBN 978-92-5-131350-3, 72 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Fauconnier, R.; Bassereau, D. 1975. *La caña de azúcar: técnicas agrícolas y producciones tropicales*. Barcelona: Blume, pp. 433.

- Figueredo, O., Rodríguez, K., Fonseca, C. (2023). *Incumplimiento de producción cañera impacta en plan de la economía*. <http://www.cubadebate.cu/noticias/2023/07/18/incumplimiento-de-produccion-canera-impacta-en-plan-de-la-economia/>
- FAO. (2008). FAOSTAT Database Results. Disponible en: <http://apps1.fao.org/faostat/servlet.htm>
- Gómez, A.; E. Velarde; R. Córdoba. (1997). *Nuevas soluciones para la preparación de suelos en Cuba*, *Revista Cuba & Caña*, 2(3): 31-36.
- Gutiérrez, A., Díaz, F. R., Vidal, L. Rodríguez I., Pineda, E., Betancourt, Y., Gómez, J.R. (2013). *Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de la caña de azúcar en los suelos arcillosos pesados con regadío superficial*, *Revista Cuba & Caña*, Suplemento Especial, (1): 15 pp.
- Hernández, A., Pérez Jiménez, J. M., Bosch, D., Castro, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015*. Ediciones INCA. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1504/2622>
- González, R., Tzucurov, A. (1986). *Explotación del parque de maquinaria*. Ediciones ENPES.
- Herrera S. M.; M. Cruz; M. Flores. 2008. *Paratill C- 80 nuevo apero para la labranza conservacionista de los suelos cañeros*. CD- R “Seminario Científico Conmemorativo por el 40 Aniv. del CEMA”. CEMA. Universidad Agraria de la Habana, dic. 4 y 5. ISBN978-959-16-0957-1.
- Humbert, R. P. (1974). *El cultivo de la caña de azúcar*. Edit. Universitaria. La Habana. 785 pp.
- Hussain, S., Hussain, S., Guo, R., Sarwar, M., Ren, X., Krstic, D., Aslam, Z., Zulifqar, U., Rauf, A., &Hano, C., (2021). *Carbon Sequestration to Avoid Soil Degradation: A Review on the Role of Conservation Tillage*. <https://doi.org/10.3390/plants10102001>
- IIMA. 2000. *Instructivo técnico del multigrado M 250 Cañero*. Republica de Cuba, 12 pp.

- León, P., Ravelo, R. (2005). *Fitotecnia General. Aplicada a las condiciones tropicales*. Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de la Habana. <https://docplayer.es/86445208-Fitotecnia-general-aplicada-a-las-condiciones-tropicales.html>
- InfoAgro. (2022). *Descripción del cultivo de caña*. <https://mexico.infoagro.com/descripcion-del-cultivo-de-cana/>
- Leyva, O. (2009). *Fundamentación de una tecnología para laboreo mínimo de suelos vertisoles basada en la aplicación de una máquina compleja en caña de azúcar*. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. La Habana, Cuba. 145 pp.
- MAG-FAO. (1996). *Uso del arado de cincel para la producción agrícola y la conservación de suelo y agua*. AG:GCP/COS/012/NET. Informe Técnico No. 15 San José, Costa Rica. 41 pp.
- Ortiz, L., H.; K.D. Rössel. (2007). *Herramientas para la labranza de suelos agrícolas*. Primera Edición. Colegio de Postgraduados. Estado de México. pp. 3- 16, 27, 39, 61- 158.
- Martín, J. R., Gálvez, G., De Armas, R., Espinosa, R., Vigoa, R., y León, A. (1987). *La caña de azúcar en Cuba*. 1ra edición, La Habana, Cuba, Editorial Científico técnica, p. 15-19.
- OCDE-FAO (*Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*). (2020. *Perspectivas Agrícolas 2020-2029*, pp165. <https://www.oecd.org/publications/ocde-fao-perspectivas-agricolas-22184376.htm>
- Oliva, L. M., Gallego, R., Fernández, G., Rubén, H. (2014). *Fomento y reposición, de la Caña de Azúcar en Cuba*. En S. Ignacio, G. Maribel, G. S. Sergio, C. Ramón (Ed.), *Instructivo técnico para el manejo de la caña de azúcar* (pp. 79-106). La Habana, Cuba: AMA.
- Pérez, H., Santana, I., Rodríguez, I., Acevedo, R. (2013). *Caña de Azúcar y Sostenibilidad*. En, H. I. Pérez, I. Santana, I. Rodríguez. *Manejo sostenible de tierra en la producción de caña de azúcar*. (21-28). Ediciones Ama.

- Pérez Izquierdo, M., Rubén, H., Pérez., E. (2014). Capítulo 10. *Organización de la producción cañera*. En S. Ignacio, G. Maribel, G. S. Sergio, C. Ramón (Ed.), Instructivo técnico para el manejo de la caña de azúcar (pp. 79-106). La Habana, Cuba: AMA.
- Pérez, C.; E. Pla. (1998). *Dos experiencias sobre laboreo. Labranza en franja y mejoramiento de suelo*. Rev. Cañaveral. (CU) 4 (3):27-28.
- Pérez, D. (2018). *Planificación de la labranza de suelo en caña de azúcar mediante el sistema automatizado LabraS*. [Tesis de maestría en Ingeniería Agrícola. Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas] 75 pp.
- Prado Fernández, E. (2023). *La carta tecnológica*. Su incidencia en la eficiencia y competitividad de las CPA y UBPC cañeras. N.98, 308 pp. Informe Académico, <https://www.gale.com/apps/doc/A146633607/IFME?u=anon~4b4bb0bc&sid=googleScholar&xid=ab35d74e>.
- SAGARPA (2016). *Aprovechamiento de los residuos de cosecha de caña de azúcar*. Nota Informativa del sector de la caña de azúcar. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114369/Nota_Informativa_Marzo_2016_Aprovechamiento_de_residuos_de_cosecha_de_la_ca_a_de_az_car.pdf.
- Sánchez, R. (2021). *Perfeccionamiento del sistema utilizado para la determinación de la demanda de lubricantes en las fuentes energéticas de preparación de suelo*. [Tesis de Pregrado, Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas].
- Santana, M., Fuentes, J., Benítez, L. Coca, J., Córdoba, R., Hernández, S., Arcia, J. Hernández, J., Hernández, I., Socarrás, D. (1999). *Principios Básicos para la aplicación de tecnologías de preparación de suelos en el marco de una agricultura conservacionista y sostenible*. La Habana: Editorial Publica.
- Tamayo, R. (2022). Analizan desempeño de la zafra 2021-2022, la producción más baja en más de cien años. <https://www.cubadebate.cu/noticias/2022/06/26/analizan-desempeno-de-la-zafra-2021-2022-la-produccion-mas-baja-en-mas-de-cien-anos/>.

Valerón, M. (2022). *Planificación sostenible de la atención postcosecha de la caña de azúcar en la Empresa Agroindustrial Azucarera George Washington* [Tesis de Pregrado, Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas].

Villavicencio, L. (2021). *Adecuación Funcional del Software LabraS en la Planificación de Labores para la Preparación Sostenible de Suelo en Caña de Azúcar* [Tesis de Pregrado, Universidad Central “Marta Abreu” de la Villas].

Villazón Gómez, J. A., Morales-Menéndez, A. M., Martín Gutiérrez, G., Cobo Vidal, Y. (2017). *Efecto del manejo de la caña de azúcar sobre la compactación en un Vertisol. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 26 (2), 31-37.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542017000200004

ANEXOS

Anexo 1. Bloques recomendados en las restantes labores de preparación de suelo

Tabla 1. Bloques recomendados para las labores de acondicionamiento

Aplicación de herbicida				Desbroce			
Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha
0104	21,26	1011	23,26	0106	22	0709	12,06
0107	56,09	1101	50	0209	49,1	0712	61,35
0119	5,53	1102	63,26	0213	17,1	0713	26
0120	5	1107	100	0217	14,2	0717	13,94
0214	47,68	1124	50	0222	10,4	0718	92,16
0240	24,51	1125	50	0230	13,14	0720	30
0303	32,25	1303	25,87	0238	30,1	0724	38
0305	15,96	1403	31,15	0401	28,85	0808	23,8
0319	34,98	1407	50,86	0403	4	0809	4,3
0625	34	1412	43	0407	33,9	0810	21,97
0630	45,38	1601	6,02	0410	13,99	0813	7,68
0632	47,36	1617	8,09	0414	7,98	0902	61,5
0647	32,9	1626	24,53	0420	21,57	0903	22,27
0706	39,89	1723	31,91	0428	22,38	0919	24,6
0707	31,32	1802	3,04	0429	39	0923	1,62
0806	37,65	1905	24	0430	29,68	0924	31,92

0807	61,35	1906	44,2	0432	9,08	0925	19,08
0811	19,73	1908	17,7	0601	7,46	0926	22,98
0814	32,72	1910	42,09	0605	20	0927	59,05
0816	33,87	1911	34,35	0606	11,3	0929	15
0823	8,18	1912	30,59	0607	15,3	1025	5,59
0847	15,8	1917	68,71	0608	17	1026	25,24
0848	52,91	1921	32,89	0620	12,3	1027	19,17
0922	8,48	2017	13,88	0621	13,19	2001	9,84
0931	57,39	2103	38,75	0622	13,19	2002	4,94
0934	30,36	2202	53,04	0624	15	2003	7,4
0935	83,08	2207	42,79	0627	27,59	2013	16,53
0936	67,95			0704	29,16	2308	9,9
				0705	38,56	2313	16,49

Tabla 2. Bloques recomendados para las labores de rotura, subsolación y cruce

Rotura (Discos)				Subsolación Pesada				Cruce (Discos)		Subsolación Mediana	
Bloq	Área, ha	Bloq	Área, ha	Bloq	Área, ha	Bloq	Área, ha	Bloq	Área, ha	Bloq	Área, ha
0117	8,04	1102	63,26	0104	21,26	0704	29,16	0119	5,53	0120	5,00
0119	5,53	1105	36,77	0106	22,00	0705	38,56	0214	47,68	0305	15,96
0214	47,68	1114	52,05	0107	56,09	0709	12,06	0240	24,51	0647	32,9
0240	24,51	1115	65,23	0209	49,1	0712	61,35	0319	34,98	0707	31,32
0303	32,25	1116	54,09	0213	17,1	0713	26	0625	34,00	1001	31,44
0319	34,98	1117	41,19	0217	14,2	0717	13,94	0630	45,38	1103	28,68
0625	34	1302	18,78	0222	10,4	0718	92,16	0632	47,36	1601	6,02
0630	45,38	1303	25,87	0230	13,14	0720	30	0706	39,89	1617	8,09
0632	47,36	1304	35,92	0238	30,1	0724	38	0806	37,65	1723	31,91
0706	39,89	1308	15,44	0401	28,85	0808	23,8	0807	61,35	1912	30,59
0806	37,65	1317	16,35	0403	4,00	0809	4,3	0811	19,73		
0807	61,35	1318	15,02	0407	33,9	0810	21,97	0814	32,72		
0811	19,73	1403	31,15	0410	13,99	0813	7,68	0816	33,87		
0814	32,72	1407	50,86	0414	7,98	0902	61,5	0823	8,18		
0816	33,87	1412	43	0420	21,57	0903	22,27	0847	15,8		
0823	8,18	1626	24,53	0428	22,38	0919	24,6	0848	52,91		
0846	12	1802	3,04	0429	39	0923	1,62	0922	8,48		

0847	15,8	1906	44,2	0430	29,68	0924	31,92	0931	57,39
0848	52,91	1908	17,7	0432	9,08	0925	19,08	0934	30,36
0922	8,48	1910	42,09	0601	7,46	0926	22,98	1011	23,26
0931	57,39	1911	34,35	0605	20	0927	59,05	1102	63,26
0934	30,36	1917	68,71	0606	11,3	0929	15	1303	25,87
0935	83,08	1921	32,89	0607	15,3	1025	5,59	1403	31,15
0936	67,95	2017	13,88	0608	17	1026	25,24	1407	50,86
1004	20,28	2103	38,75	0620	12,3	1027	19,17	1412	43
1011	23,26	2202	53,04	0621	13,19	1101	50	1626	24,53
		2207	42,79	0622	13,19	1107	100	1802	3,04
				0624	15	1124	50	1906	44,2
				0627	27,59	1125	50	1908	17,7
				2013	16,53	1905	24	1910	42,09
				2308	9,9	2001	9,84	1911	34,35
				2313	16,49	2002	4,94	1921	32,89
						2003	7,4	2103	38,75
								2202	53,04
								2207	42,79

Tabla 3. Bloques recomendados para las labores de grada en sus diferentes fases (pesada, media y ligera)

Grada pesada		Grada mediana								Grada ligera			
Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha	Bloques	Área, ha
0104	21,26	0104	21,26	0607	15,3	1001	31,44	1906	44,2	0104	21,26	0923	1,62
0106	22	0105	26,28	0608	17	1003	20,7	1908	17,7	0106	22	0924	31,92
0107	56,09	0106	22	0609	26,22	1004	20,28	1910	42,09	0107	56,09	0925	19,08
0209	49,1	0107	56,09	0611	47,57	1011	23,26	1911	34,35	0119	5,53	0926	22,98
0213	17,1	0110	11,32	0612	14,14	1025	5,59	1912	30,59	0120	5	0927	59,05
0217	14,2	0111	10,84	0613	9,59	1026	25,24	1914	19,67	0209	49,1	0931	57,39
0222	10,4	0117	8,04	0614	7,12	1027	19,17	1915	8,45	0213	17,1	0934	30,36
0230	13,14	0119	5,53	0620	12,3	1101	50	1917	68,71	0214	47,68	0935	83,08
0238	30,1	0120	5	0621	13,19	1102	63,26	1921	32,89	0217	14,2	0936	67,95
0401	28,85	0209	49,1	0622	13,19	1103	28,68	2001	9,84	0222	10,4	1001	31,44
0403	4	0213	17,1	0623	37,36	1105	36,77	2002	4,94	0230	13,14	1011	23,26
0407	33,9	0214	47,68	0624	15	1107	100	2003	7,4	0238	30,1	1025	5,59
0410	13,99	0217	14,2	0625	34	1114	52,05	2007	13,12	0240	24,51	1026	25,24
0414	7,98	0222	10,4	0627	27,59	1115	65,23	2011	54,19	0303	32,25	1027	19,17
0420	21,57	0230	13,14	0628	14,12	1116	54,09	2012	6,57	0305	15,96	1101	50
0428	22,38	0231	24,8	0630	45,38	1117	41,19	2013	16,53	0319	34,98	1102	63,26
0429	39	0238	30,1	0631	30,43	1124	50	2014	29,28	0401	28,85	1103	28,68
0430	29,68	0240	24,51	0632	47,36	1125	50	2017	13,88	0403	4	1107	100
0432	9,08	0301	20,98	0639	36,73	1229	61,06	2019	15,61	0407	33,9	1124	50
0601	7,46	0303	32,25	0647	32,9	1230	57,98	2103	38,75	0410	13,99	1125	50
0605	20	0304	15,19	0704	29,16	1231	105,68	2106	8,28	0414	7,98	1303	25,87
0606	11,3	0305	15,96	0705	38,56	1236	24,66	2110	18,18	0428	22,38	1403	31,15

0607	15,3	0307	12,7	0706	39,89	1302	18,78	2111	12,97	0429	39	1407	50,86
0608	17	0308	28,2	0707	31,32	1303	25,87	2117	39,96	0430	29,68	1412	43
0620	12,3	0311	55,5	0709	12,06	1304	35,92	2118	66,67	0432	9,08	1601	6,02
0621	13,19	0312	48,47	0712	61,35	1308	15,44	2119	8,25	0601	7,46	1617	8,09
0622	13,19	0318	48,89	0713	26	1317	16,35	2121	9,12	0605	20	1626	24,53
0624	15	0319	34,98	0717	13,94	1318	15,02	2123	25,47	0606	11,3	1723	31,91
0627	27,59	0321	16,32	0718	92,16	1402	43,61	2124	16,85	0607	15,3	1802	3,04
0704	29,16	0324	36,1	0719	68,17	1403	31,15	2126	20,8	0608	17	1905	24
0705	38,56	0326	19,25	0720	30	1407	50,86	2202	53,04	0621	13,19	1906	44,2
0709	12,06	0401	28,85	0721	47,92	1412	43	2205	6,48	0624	15	1908	17,7
0712	61,35	0403	4	0724	38	1413	34,64	2206	12,88	0625	34	1910	42,09
0713	26	0405	10,88	0805	4,7	1506	27,04	2207	42,79	0627	27,59	1911	34,35
0717	13,94	0407	33,9	0806	37,65	1507	37,75	2302	23,95	0630	45,38	1912	30,59
0718	92,16	0410	13,99	0807	61,35	1508	43,87	2305	19,94	0632	47,36	1917	68,71
0720	30	0412	15,04	0808	23,8	1511	52,42	2307	32,44	0647	32,9	1921	32,89
0724	38	0413	32,9	0809	4,3	1517	34,95	2308	9,9	0704	29,16	2003	7,4
0808	23,8	0414	7,98	0810	21,97	1532	32,45	2312	56,01	0705	38,56	2013	16,53
0809	4,3	0415	23,39	0811	19,73	1534	22,36	2313	16,49	0706	39,89	2017	13,88
0810	21,97	0417	37,18	0813	7,68	1535	69,39			0707	31,32	2103	38,75
0813	7,68	0418	5,6	0814	32,72	1601	6,02			0709	12,06	2202	53,04
0902	61,5	0419	28,36	0816	33,87	1602	16,61			0712	61,35	2207	42,79
0903	22,27	0420	21,57	0823	8,18	1606	29,4			0713	26	2308	9,9
0919	24,6	0428	22,38	0838	32,5	1607	36,77			0717	13,94	2313	16,49
0923	1,62	0429	39	0839	44,93	1617	8,09			0718	92,16		
0924	31,92	0430	29,68	0840	32,99	1622	5,7			0720	30		
0925	19,08	0432	9,08	0846	12	1625	66,09			0724	38		

0926	22,98	0434	13,64	0847	15,8	1626	24,53			0806	37,65		
0927	59,05	0501	29,67	0848	52,91	1701	57,98			0807	61,35		
0929	15	0504	20,35	0902	61,5	1703	8,06			0808	23,8		
1025	5,59	0508	14,76	0903	22,27	1705	19,74			0809	4,3		
1026	25,24	0509	60,49	0919	24,6	1709	5,7			0810	21,97		
1027	19,17	0511	19,47	0922	8,48	1710	14,14			0811	19,73		
1101	50	0512	30,7	0923	1,62	1711	32,28			0813	7,68		
1107	100	0514	11,06	0924	31,92	1712	26,21			0814	32,72		
1124	50	0515	57,4	0925	19,08	1723	31,91			0816	33,87		
1125	50	0527	40,15	0926	22,98	1724	31,01			0823	8,18		
1905	24	0529	14,7	0927	59,05	1731	12,76			0847	15,8		
2001	9,84	0531	52,85	0929	15	1733	2,93			0848	52,91		
2002	4,94	0601	7,46	0931	57,39	1734	3,39			0902	61,5		
2003	7,4	0603	22,71	0933	41,9	1801	75,95			0903	22,27		
2013	16,53	0605	20	0934	30,36	1802	3,04			0919	24,6		
2308	9,9	0606	11,3	0935	83,08	1904	34,11			0922	8,48		
2313	16,49			0936	67,95	1905	24						