

Mejora de la eficiencia operativa de productores agrícolas de la Sociedad de Usuarios de Agua (SUA) Sanatorio, Cartago, Costa Rica. Etapas I y II.

Natalia Gómez-Calderón

Escuela de Ingeniería Agrícola
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ ngomez@itcr.ac.cr

Karolina Villagra-Mendoza

Escuela de Ingeniería Agrícola
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ kvillagra@itcr.ac.cr

Resumen.

La Sociedad de Usuarios de Agua Sanatorio, SUA Sanatorio, es concesionaria de un caudal de agua para riego restringido en cantidad y tiempo, por lo que la distribución entre los productores requiere ser eficiente y la optimización del uso de los recursos es una necesidad en la zona. Se generaron mapas digitales de las áreas productivas del SUA Sanatorio de textura, humedad y consistencia del suelo (Etapa I) y de resistencias del suelo e infiltración (Etapa II) con el fin de capacitar a los productores en el manejo de los recursos suelo y agua, específicamente en la eficiencia de la labranza y el riego. Por medio de mediciones en el campo, visitas a los productores y talleres de campo, se hizo énfasis en la posibilidad de utilizar equipo menor para la preparación del suelo, e importancia del uso de emisores de agua de bajo caudal para el riego. Se reforzaron el uso de técnicas y herramientas que les permitan conocer las condiciones en campo para tomar mejores decisiones sobre la gestión de sus áreas productivas.

Palabras clave:

SUA Sanatorio, áreas productivas, conservación de suelo, labranza, agricultura digital, riego eficiente

1. Introducción

La Sociedad de Usuarios de Agua Sanatorio, SUA Sanatorio, es concesionaria de agua para riego y beneficiaria del Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), que ha construido tomas de agua en las nacientes del Río Reventado (Figura 1) para abastecer diferentes grupos de productores agrícolas. Debido a que la concesión entrega un caudal de agua restringido cada cierto tiempo, la distribución entre los productores requiere ser eficiente y la optimización del uso de los recursos es una necesidad en la zona donde se ubican las 67 parcelas que conforman la SUA en Tierra Blanca, Potrero Cerrado y Oreamuno en Cartago, Costa Rica, grupo de beneficiarios directos del proyecto. Dichas necesidades implican conocimientos de manejo de suelos, porque es el recurso que retiene el agua de riego entre entregas. Además, las zonas productivas se ubican en sitios susceptibles a la erosión y a la compactación acrecentada por la labranza convencional del suelo y las condiciones de ladera [1], [2], situaciones que han sido investigadas por las extensionistas ejecutoras de este proyecto.



Figura 1. Toma de agua, conducción y reservorio de agua de SUA Sanatorio para riego.

En la Figura 2 se muestra la distribución de algunas áreas según la textura del suelo, encontrándose fincas con texturas más gruesas en zonas de mayor altura y menor grosor hacia el sur.

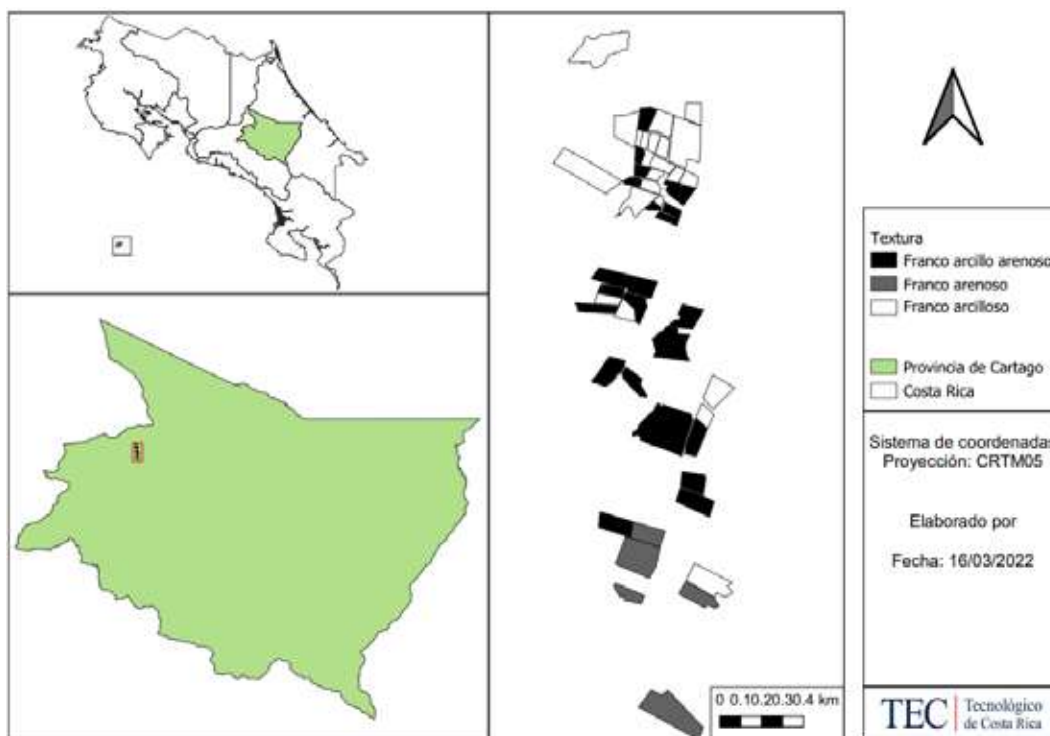


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio y las parcelas de usuarios del agua muestreadas. Fuente: [3]

El objetivo del trabajo fue brindar información a la Sociedad de Usuarios de Agua (SUA) Sanatorio para el uso, manejo y conservación del suelo y agua para riego, generando información georreferenciada de las áreas productivas y compartiendo el conocimiento a los productores por medio de días de campo, y así favorecer una SUA mejor informada para el manejo adecuado del suelo y agua.

2. Estrategia de abordaje de la población

En la Etapa I (2021), se creó un mapa digital con los puntos de muestreo e información sobre las características físicas de los suelos hortícolas como textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, agua disponible para las plantas, límites de consistencia y pH, lo que permite diseñar riego eficiente y sistemas de manejo y conservación de suelos. En la Etapa II (2022), se incluyó información sobre capacidad de infiltración y resistencia del suelo, con el fin de recomendar tiempos de riego evitando escorrentía y tipos de preparación de suelo mecanizado acorde con las características del terreno.

La digitalización de la información, a una escala 1:5000, permitió realizar recomendaciones de manejo del suelo y del agua para riego, puntuales a los productores, por medio de días de campo (Figura 3). El contacto directo con los productores, de las fincas estudiadas, permitió brindar capacitaciones personalizadas en cuanto a las técnicas de medición de los parámetros del suelo y su adecuado manejo.

Las muestras se procesaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC (Figura 4), para obtener textura, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), agua disponible para las plantas (ADP) y límites plásticos. La digitalización y análisis de los datos se realizó en el Laboratorio de Modelación y Análisis de Datos de la misma escuela.

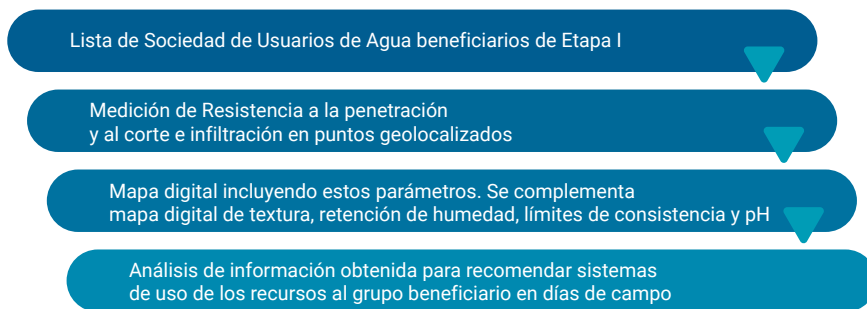


Figura 3. Esquema del trabajo realizado, desde la escogencia de los productores hasta la capacitación personalizada para el manejo adecuado de los recursos.



Figura 4. Procesamiento de muestras en el Laboratorio de Física de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola. Fuente: [3]

3. Mediciones y Resultados

El Cuadro 1 resume la distribución de la textura correspondiente a las fincas en estudio, con la georreferenciación de cada punto de muestreo. Con ello se identificó la predominancia de la textura en la zona de estudio.

Cuadro 1. Texturas identificadas en cada punto de muestreo de la zona de estudio

Textura	Área (ha)	Predominancia (%)
Franco arcillo arenoso	21.9	42
Franco arenoso	21.4	41
Franco arcilloso	8.8	17

El agua disponible para las plantas (ADP) se obtuvo de restar el contenido de humedad de CC – PMP, esta información es clave para la elaboración de diseños de riego en la zona de estudio (Cuadro 2). Tanto para la textura franco-arcillosa como para la franca arenosa se observa que el ADP es muy similar, por el contrario, para la franca arcillosa se observa una menor disponibilidad.

Cuadro 2. Contenidos de humedad del suelo para las texturas analizadas en la zona de estudio

Textura	Predominancia (%)	Densidad aparente, g/cm ³ (Da)	Capacidad de Campo (CC)	Punto de Marchitez Permanente (PMP)	Agua disponible para planta (ADP)
Franco arcillo arenoso	42	1.23 ± 0.06	40.86 ± 2.89*	24.96 ± 2.74***	16.26 ± 3.09
Franco arenoso	41	1.28 ± 0.07	40.80 ± 2.98*	22.61 ± 2.62***	17.52 ± 3.49
Franco arcilloso ¹	17	1.06	40.66**	23.91***	4.40

¹solo se muestreó un punto con una textura franco-arcillosa

*determinado a -6 kPa de potencial mátrico

**determinado a -33 kPa de potencial mátrico

***determinado a -1500 kPa de potencial mátrico

El cuadro 3 brinda información sobre la consistencia del suelo. Se observa que los suelos de textura franco arcillo arenoso y franco arenoso cuentan con un índice de plasticidad menor comparado con el suelo franco arcilloso. Esto indica que el rango de humedad de trabajo de los primeros es mucho más limitado que el franco arcilloso. Esto es importante para realizar labores de preparación de suelos en condiciones de friabilidad, que es cuando el suelo responde mejor a la acción de los implementos, y tiene menores requerimientos de tracción y energía para la preparación del suelo [4].

Cuadro 3. Plasticidad del suelo para las texturas analizadas en las fincas estudiadas

Textura	Predominancia (%)	Límite plástico inferior (LPI)	Límite plástico superior (LPS)	Índice de plasticidad (IP)
Franco arcillo arenoso	42	38.4±5.1	36.0±5.2	2.45±0.1
Franco arenoso	41	31.1 ±3.3	28.8±3.2	1.87±1.5
Franco arcilloso	17	43.5±7.5	30.1±4.1	13.4±3.4

Las mediciones de las resistencias del suelo, muestran que para ninguna de las fincas, la resistencia al corte demanda una potencia mayor a los 30 kW de potencia, para mecanizar el suelo a 30 cm de profundidad con una velocidad de avance de la maquinaria inferior a los 10 km h⁻¹, por lo que se puede promover entre los productores el uso de maquinaria menor para la labranza [5]. Esto puede contribuir a la conservación del suelo de la zona. En la figura 5, se muestran los puntos medidos, en las diferentes fincas, de la resistencia al corte a una profundidad de 15 cm, profundidad de labranza de los implementos comúnmente utilizados para conformar las camas de siembra en la zona.

La resistencia a la penetración se mantuvo, en la mayoría de las fincas, a valores inferiores a 1.3 MPa, a excepción de tres puntos de muestreo con valores superiores al límite a 15 y 30 cm. Esta información, permitirá mantener en observación el manejo del suelo y los métodos de labranza aplicados por el productor, con el fin de mejorar procedimientos y evaluar rendimientos de los cultivos que pueda indicar alteraciones en el crecimiento radicular. En la figura 6, se muestran los puntos de la medición de la resistencia a la penetración a 15 de profundidad en la zona en estudio.

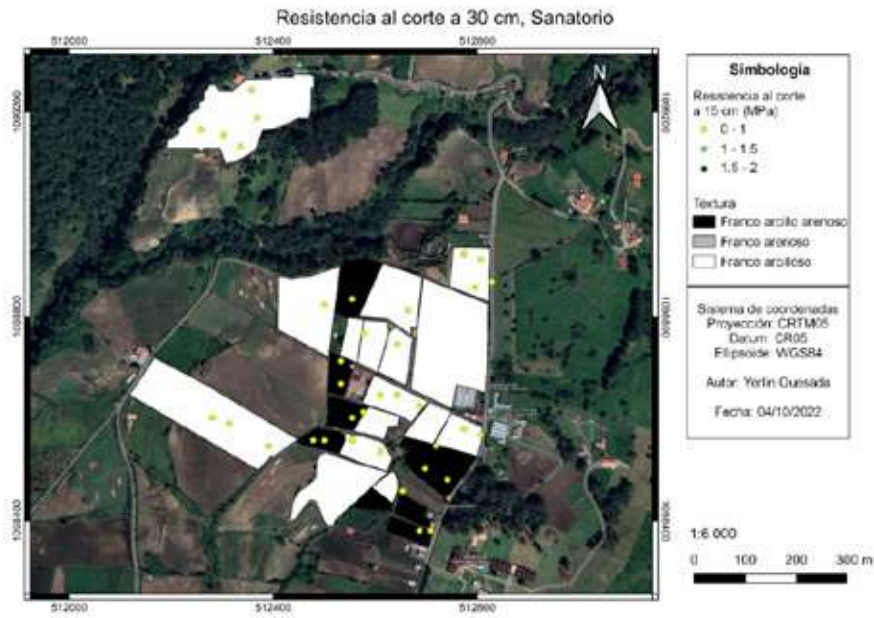


Figura 5. Puntos de muestreo de la resistencia al corte a una profundidad de 15 cm en la Sociedad de Usuarios de Agua del Sanatorio, Cartago. Fuente: [6]

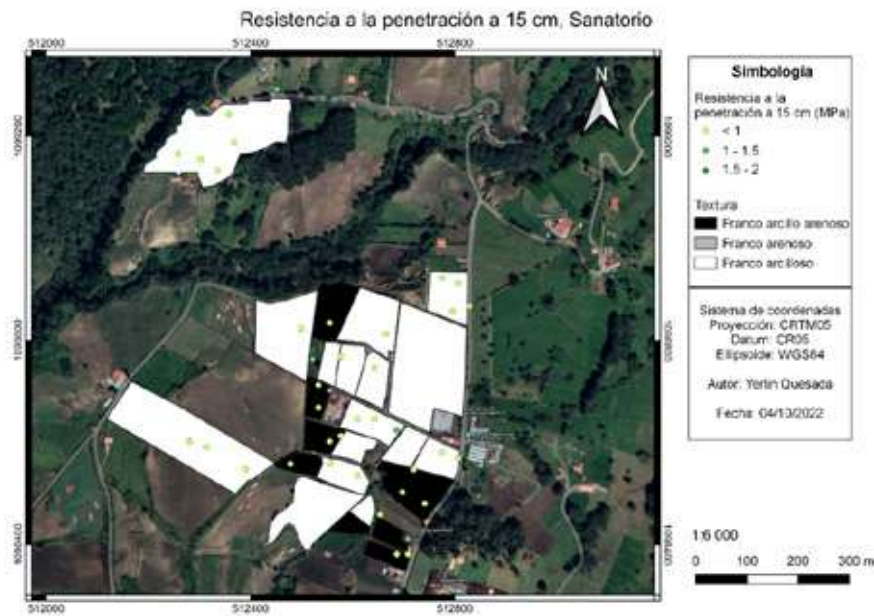


Figura 6. Puntos de muestreo de la resistencia a la penetración a una profundidad de 15 cm en la Sociedad de Usuarios de Agua del Sanatorio, Cartago.

La infiltración medida en las fincas, permite evaluar el sistema de riego que utilicen los productores y hacer recomendaciones de diseño para próximas propuestas. Se detectaron seis fincas, en donde la infiltración acumulada es significativamente superior a las otras, con un promedio de 2.31 ± 0.35 cm h⁻¹. A estas fincas, se les recomienda emisores de bajo caudal de agua con el fin de tener mejores eficiencias de riego.

4. Resumen de consideraciones en las capacitaciones a los productores.

A continuación, se enumeran tres temas principales, que deben ser profundizados en las capacitaciones de los productores asociados a la SUA Sanatorio, según las mediciones realizadas:

a. Las prácticas de labranza mecanizada:

Sensibilizar sobre el uso de maquinaria categoría I y la labranza de conservación, debido a que el tipo de suelo y su resistencia no requieren desestructuración profunda, lo que incide en los costos de las operaciones y en la conservación del suelo, debido a que está comprobado que la roturación excesiva también causa pérdidas elevadas de suelo por erosión [7].

b. La resistencia del suelo:

Continuar educando sobre las propiedades mecánicas de los suelos, su influencia en la compactación y los efectos en la degradación del recurso y posibles repercusiones en el rendimiento de los cultivos. También se debe informar a los productores sobre rangos teóricos de densidad aparente y resistencia a la penetración, en los que mejor se desarrolla el sistema radicular de los cultivos que comúnmente se establecen. Para las fincas que presentan condiciones de resistencias a la penetración mayores a 1,3 MPa a 15 cm de profundidad y a 30 cm de profundidad, dar seguimiento en futuras etapas del proyecto y conversar con los productores sobre el manejo integral que han tenido las fincas con el fin de proponerles prácticas de intervención en capas más compactadas (piso de arado).

c. Infiltración y manejo del riego:

Sobre el manejo del agua para riego, instalación, mantenimiento y diseño de los sistemas, se debe explicar sobre el movimiento del agua en el suelo y la importancia de conocer este parámetro en la eficiencia del riego. Para las fincas identificadas con infiltraciones altas, considerar y explicar el por qué son necesarios emisores de agua de bajo caudal para aumentar la eficiencia del sistema que utilicen. También es relevante capacitar sobre la retención de humedad del suelo y su relación con la lámina de riego aplicada y la importancia del monitoreo de la humedad por medio de herramientas que le permitan a los productores tomar decisiones sobre riego en el momento de la medición.

Como parte de las acciones de esta etapa del proyecto, es necesario verificar las acciones del Programa Nacional AGRINNOVACIÓN del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica.

Agradecimientos

A los estudiantes asistentes que apoyaron el desarrollo de la Etapa I del proyecto; Valeria Brenes, Abigail Fallas, Hazel Garro, Liz López, Efraín Herrera, Joseph Vargas, Mario Berrocal, Charot Vargas, Katherine Gómez, Eliana Barquero, Brayan Corrales y Sebastian Solís, y en la Etapa II; David Araya Quesada, David Araya Sanabria, Valeria Montes Robles, Yerlin Quesada Mora, Ericka Picado Mora, Nayeli Ruiz Granados. A los productores y encargado del sistema del SUA Sanatorio, a la Cámara Nacional Hortícola por el apoyo y dotación de recursos por medio del impuesto al Cemento y la administración de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC.

Bibliografía

- [1] Gómez-Calderón, Villagra-Mendoza, and Solórzano-Quintana, "La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria)," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 31, no. 1, p. 170, Mar. 2018, doi: 10.18845/tm.v31i1.3506.
- [2] N. Gómez-Calderón and R. J. Estrada-León, "Conservación de suelos mediante la modificación de la frecuencia de labranza: Un caso en Costa Rica," *Rev. Ciencias Ambient.*, vol. 54, no. 1, pp. 123–139, Jan. 2020, doi: 10.15359/rca.54-1.7.
- [3] K. Villagra-Mendoza and N. Gomez-Calderon, "Informe de proyecto de Extensión. Muestreo y Análisis de Suelos de Áreas Productivas (Etapa I)," 2022.
- [4] McPhee and Aird, "Controlled traffic for vegetable production: Part 1. Machinery challenges and options in a diversified vegetable industry," *Biosyst. Eng.*, vol. 116, no. 2, pp. 144–154, Oct. 2013, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2013.06.001.
- [5] N. Gómez-Calderón, K. Villagra-Mendoza, and M. Solórzano-Quintana, "La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria)," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 31, no. 1, p. 170, 2018, doi: 10.18845/tm.v31i1.3506.
- [6] N. Gomez-Calderon and K. Villagra-Mendoza, "Muestro y análisis de suelos de áreas productivas. Etapa II," 2023. [Online]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14444>
- [7] Gómez-Calderón, Solórzano-Quintana, and Villagra-Mendoza, "Cuantificación de la Erosión Hídrica en Función de Diferentes Técnicas de Mecanización para Minimizar la Contaminación del Agua por Sedimentos en la Parte Alta de la Cuenca del Río Reventazón," 2017. [Online]. Available: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9164>

Sobre los autores:

Natalia Gómez-Calderón

La Ing. Natalia Gómez Calderón. PhD, es profesora asociada, investigadora y extensionista de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC. Ingeniera agrícola. Actualmente es la coordinadora del Centro de Investigación y Extensión en Tecnología e Ingeniería Agrícola (CETIA). <https://orcid.org/0000-0001-7961-7529>

Karolina Villagra-Mendoza

La Dra.-Ing. Karolina Villagra-Mendoza es profesora asociada, investigadora y extensionista de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC. Ingeniera agrícola. Actualmente es la coordinadora del Laboratorio de Física de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola. <https://orcid.org/0000-0002-2335-0615>