



FACTORES LIMITANTES DEL SUELO EN CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L)

Personal Domain As The Spirit Of Organizations Of The 21st Century

Humberto Ramón Pérez-Figueroa

Profesor Universitario

*Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora
Academia de la Ciencia Agrícola de Venezuela (ACAV)
Complejo Agroindustrial Azucarero "Ezequiel Zamora" S. A. (CAAEZ, SA)
Barinas, Venezuela. humbertoperezf@gmail.com*

DATOS DEL ARTICULO

Recepción: 09/08/2021

Aprobación: 05/02/2022

Correspondencia a:

*humbertoperezf@gmail.com
(Humberto Perez)*

Palabras Claves:

Muestreo de suelo, factores edáficos, caña de azúcar, suelo agrícola.

RESUMEN

Existe la tendencia a confundir los factores limitantes, que son intrínsecos del suelo producto de sus propios procesos de formación, con los procesos de degradación provocados por la acción antrópica; este es un aspecto a tener en cuenta al caracterizar y clasificar los suelos. Debido a esto, la presente investigación se orientó con el objetivo de evaluar los factores limitantes del suelo que afectan el rendimiento agrícola e industrial en el cultivo de caña de azúcar, en 303 parcelas ubicadas en el Sistema de Riego Rio Boconó, con una mezcla varietal diversa. Para estimar los parámetros se tomaron muestras de suelo y se codificaron los factores edáficos limitantes a través del Software ESMICA Ver. 1.0. Adicionalmente, se utilizó un análisis de varianza unifactorial, aplicando la prueba de Tukey ($p \leq 0,01$), en caso de significancia. Los resultados indicaron que predominan los suelos Ustropepts (58,50%), y Tropaquepts (25,91%), planos, bien drenados, sin piedra, sin roca, sin gravilla y sin concreciones; ligeramente compactos (93,32%). Profundo en un 50% del área y 50% entre poco profundo y medianamente profundo. Se concluye que el suelo presenta pocas limitantes, siendo una característica favorable para el cultivo de caña de azúcar.



ABSTRACT

There is a tendency to confuse the limiting factors, which are intrinsic to the soil resulting from its own formation processes, with the degradation processes caused by anthropogenic action; this is an aspect to take into account when characterizing and classifying soils. Due to this, the present investigation was oriented with the objective of evaluating the main limiting factors of the soils that affect agricultural and industrial yield in the cultivation of sugarcane, in 303 plots located in the Rio Boconó Irrigation System, with a diverse varietal mix. To estimate parameters, soil samples were taken and limiting edaphic factors were coded through Software ESMICA Ver. 1.0. Additionally, a univariate analysis of variance was used, applying the Tukey test ($p \leq 0.01$), in case of significance. The results indicated that the Ustropepts (58.50%), and Tropaquepts (25.91%), soils, flat, well drained, without stone, without rock, without gravel and without concretions predominate; slightly compact (93.32%), deep in 50% of the area and 50% between shallow and medium deep. It is concluded that the soil has few limitations, being a favorable characteristic for the cultivation of sugar cane.

Keywords:

soil sampling, edaphic factors,
sugar cane, agricultural soil



1. INTRODUCCIÓN

En Venezuela, son diversas las zonas donde se cultiva la caña de azúcar, siendo una de ellas el norte del estado Barinas, en el Sistema de Riego Rio Boconó (SRRB), considerándose una zona potencial para la producción de este cultivo, con características de suelo y clima, superior a otras zonas donde se han experimentado exploraciones sobre adaptabilidad del cultivo, según como lo expresa Lozada y Rincones (1983), citado en Pérez-Figueredo (2013). Así mismo, el SRRB presenta desde hace más de veinte años una severa degradación de los suelos debido a las actividades agropecuarias y la excesiva labranza de la tierra; durante la preparación de la cama de siembra de los principales cultivo como maíz, sorgo, yuca, ajonjolí, caña de azúcar y girasol que han provocado una pérdida de suelo cada vez mayor según expresa Pérez-Figueredo (2013 Ob. cit.). No obstante, desde la década de los años 70 y 80 Morell *et al.*, (2008), vienen planteando el concepto de factores limitantes de los suelos, ya sea a nivel internacional como nacional para evaluar la adaptabilidad del cultivo al suelo.

Otros autores, tales como, Shishov *et al.*, (2000), Mesa (1993), Hernández (1990), y Roldós (1986), plantean el término de factores limitantes agroproductivos del suelo debido que el desarrollo del cultivo se ve limitado por una serie de factores de carácter directo e indirecto, relacionados con las condiciones de luminosidad, temperatura y otras condiciones del ambiente de carácter no edáfico, mientras que los indirectos están vinculados fundamentalmente con las características del medio edáfico, tanto internas como externas según lo afirma Álvarez (2002). Según Swift y Woome (1993), los esfuerzos en el sector agrícola, mundialmente, están dirigidos hacia la obtención de una agricultura sostenible; es decir, al manejo y uso racional de los recursos para una agricultura que satisfaga las necesidades humanas, siempre y cuando se mantenga la calidad del ambiente y la conservación de los recursos naturales. En este sentido, Wagner *et al.*, (1995), reportan que la caña de azúcar es uno de los cultivos que mejor responde con los anteriores planteamientos, por su capacidad de adaptarse a condiciones tropicales.



Sin embargo, la producción en Venezuela es baja e insuficiente existiendo un déficit de azúcar para el consumo humano aun cuando el rendimiento promedio estadístico de 16 años encontrado por Pérez-Figueredo (2013), en el Complejo Agroindustrial Azucarero Ezequiel Zamora, S.A. (CAAEZ, S. A.), donde se arrima la caña de azúcar producida en las 303 parcelas estudiadas, alcanzó valores de $69,93 \pm 17,31$ toneladas de caña por hectárea (TCH), y $7,33 \pm 13,43$ toneladas de azúcar por hectárea (TAH), no siendo suficiente para cubrir la demanda de azúcar exigida por la población nacional. De aquí surge la interrogante ¿Los suelos del SRRB son un factor limitante para el rendimientos agrícola e industriales del cultivo caña de azúcar? Para dar respuesta, se realizó este trabajo con el objetivo de evaluar los factores limitantes del suelo que afectan el rendimiento agrícola e industrial en el cultivo de caña de azúcar, en el Sistema de Riego Rio Boconó, Sabaneta, estado Barinas para contribuir en dar respuesta al déficit de azúcar a nivel nacional.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó durante el periodo comprendido 2002-2015, en el Sistema de Riego Rio Boconó (SRRB), parroquia Sabaneta, municipio Alberto Arvelo Torrealba, al norte del estado Barinas, en 303 parcelas sembradas con el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), con una mezcla varietal diversa, encontrándose 17 diferentes variedades; CR87-339, PR69-4, CR74-250, CR89-337, V84-8, C266-70, C323-68, RB85-5546, V75-6, CP74-2005, RB73-9735, PR61-632, B74-118, B80-408, SP70-1284, PR1013 y una mezcla varietal denominada VADES. Las cepas varían desde soca 1 hasta soca 10, incluyendo algunas en plantilla. La distribución de las parcelas se muestra en el Anexo 3, las cuales varían en área de 10.64 a 20.86 ha, pertenecientes al Instituto Nacional de Tierras y ocupadas por productores agrícolas de la localidad de Sabaneta, estado Barinas.



Se obtuvo el registro climatológico de INIA (2016), periodo 2000 a 2015. Precipitación anual 1415,02 mm, evaporación anual 1896,41 mm, Temperaturas promedio mensual 26,95 °C. Presentando un periodo seco con déficit de 468,34 mm de aguas. Un periodo lluvioso con un exceso de agua de 561.40 mm. Ganancia de agua de 1638,50 mm anuales y pérdida de 1931,80 mm anual. Para la evaluación de los resultados experimentales de rendimiento y comportamiento de las características químicas de suelo se utilizó el Software Statistica V-8, a través de un análisis de varianza completamente aleatorizado, bifactorial (limitantes del suelo y fertilidad del suelo), en caso de significancia se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,01$).

Tomando como tratamientos los 8 tipos de suelos (Usterts, Haplustolls, Haplustalfs, Tropaquepts, Ustrophepts, Eutrophepts, Entisols, Ustipsamments) y las 17 diferentes variedades de caña de azúcar (CR87-339, PR69-4, CR74-250, CR89-337, V84-8, C266-70, C323-68, RB85-5546, V75-6, CP74-2005, RB73-9735, PR61-632, B74-118, B80-408, SP70-1284, PR1013, VADES), y como variables físicas relacionadas con las limitantes del suelo la profundidad efectiva, pendiente, textura, drenaje, pedregosidad, rocosidad, graviliosidad, concrecionamiento, erosión, tipo de erosión y compactación; y las variables químicas relacionadas con la fertilidad del suelo la materia orgánica, fosforo asimilable, potasio intercambiable, reacción del suelo y capacidad intercambio catiónico.

Las muestras de suelos se tomaron en las unidades mínimas de manejo donde está establecido el cultivo de caña, utilizando barrenos de fabricación propia. Se muestrearon 6320,63 ha, 1345 muestras completas a profundidad de 0 a 0,20 m; de 0,20 a 0,40 m y de 0,40 a 0,60 m, tomadas al azar utilizando el sistema en zig-zag según recomiendan Lizcano *et al.*, (2017), y Guaygua y Espinoza (2013). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de suelos del INIA-Barinas. Para la identificación de los suelos se utilizó la clasificación según USDA (1994), citado en ESMICA (2003), y las calibraciones de los factores edáficos que inciden en el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar se tomaron a partir del Instructivo del Servicio de Recomendaciones



de Fertilizantes y Enmiendas del Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar (SERFE, 1999), y del Manual de Procedimientos de Suelos y Agroquímicos del Complejo Agroindustrial Azucarero Ezequiel Zamora, S. A. (Pérez-Figueredo, 2005).

Para caracterizar los factores limitantes del suelo, se tomaron en cuenta los criterios presentados por Morell et al., (2008), ESMICA (2003), Álvarez (2002), y Hernández et al., (1990), tomándose los puntos muestrales de suelo al azar, según Becerra *et al.*, (2005), con la intención de homogeneizar las unidades mínimas de manejo de las 303 parcelas sembradas con el cultivo de la caña de azúcar en el SRRB. Se codificaron los factores limitantes del suelo según ESMICA (2003), dando valores numéricos a cada variable edáfica limitante. 1: profundidad efectiva; 2: pendiente; 3: textura; 4: drenaje; 5: pedregosidad; 6 rocosidad; 7: graviliosidad; 8: concrecionamiento; 9: erosión; 10: tipo de erosión; 11: compactación; 12: fósforo asimilable; 13: potasio intercambiable; 14: materia orgánica; 15: reacción del suelo; 16: Capacidad Intercambio Catiónico. En el Anexo 1, se presentan las características de estas variables edáficas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1, se muestra la matriz de datos resultantes de los factores edáficos limitantes del suelo analizados y las características de las muestras de suelo de cada una de las unidades mínimas de manejo (tablón), de caña de azúcar. Se encontró que existen 8 tipos de suelos bien diferenciados según ESMICA (2003), los cuales se muestra en el Anexo 1, identificados como Usterts, Haplustolls, Haplustalfs, Tropaquepts, Ustrophepts, Eutrophepts, Entisols, Ustipsamments.

Los suelos de mayor predominancia en el Sistema de Riego Rio Boconó son Ustrophepts con un 58,50% del área y Tropaquepts con 25,91% del área. Los Haplustolls y Eutrophepts se encuentra en áreas muy reducidas (0,30 y 0,07%), representando solo 5 parcelas del total. Esta distribución de los suelos en el SRRB no resultaron ser una limitante para el cultivo de la caña de



azúcar debido que este se adaptó satisfactoriamente a estos tipos de suelo a través de las labores de manejo recomendadas por los técnicos del CAAEZ, SA, a los productores azucareros; además, los rendimientos obtenidos están sobre el rendimiento promedio en este rubro en el SRRB, como se muestran en la Tabla 5.

Los valores porcentuales en que se encuentran los factores limitantes de los suelos se muestran en la Tabla 2, donde se aprecia que el 50% de los suelos son profundos (Usterts, 2,97%; Haplustolls, 0,30%; Haplustalfs, 3,71%; Ustrophepts, 58,50%; Eutrophepts, 0,07%), representando el 65,55% e indicando que la profundidad efectiva de los suelos permite a las raíces alcanzar hasta 1 m sin encontrar resistencia física o química siendo una característica favorable para la caña de azúcar según lo expresan ESMICA (2003), Álvarez (2002), Hernández (1990), y Roldós (1986).

Tabla 1. Matriz de factores limitantes de los suelos evaluados en el área del Sistema de Riego Rio Boconó.

| Suelo | Muestras | | Factores Edáficos/Unidad de Manejo * | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------|-------|--------------------------------------|---|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| | n | % | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Usterts | 40 | 2,97 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 |
| Haplustolls | 4 | 0,3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| Haplustalfs | 50 | 3,71 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 5 | 2 | 3 |
| Tropaquepts | 349 | 25,91 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| Ustrophepts | 788 | 58,5 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| Eutrophepts | 1 | 0,07 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 |
| Entisols | 36 | 2,67 | 4 | 1 | 10 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 2 | 5 | 3 | 3 |
| Ustipsamments | 77 | 5,72 | 4 | 1 | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 |
| \bar{x} | 1345 | 100 | 3 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 | 3 |

Fuente: Datos de campo obtenidos en la investigación y codificados por el Software ESMICA (2003).

*El significado de los códigos de factores edáficos se muestra en el Anexo 1.



Tabla 2. Valores porcentuales de la matriz de factores limitantes de los suelos evaluados en el área del Sistema de Riego Rio Boconó.

| Profundidad Efectiva | % | Pendiente | % | Textura | % | | |
|-----------------------------|----------|--------------------------|----------|---------------------------|----------|------------|----------|
| Profundo | 50 | Casi Plano | 10 | L | 40 | | |
| Medianamente Profundo | 20 | Ondulado | 0 | FA | 40 | | |
| Poco Profundo | 30 | Fuertemente Ondulado | 0 | Fa | 10 | | |
| Muy Profundo | 0 | Colinoso | 0 | FAL | 10 | | |
| Drenaje | % | Pedregosidad | % | Graviliosidad | % | | |
| Bien Drenado | 100 | Sin Piedra | 10 | Sin Gravilla | 100 | | |
| Excesivamente Drenado | 0 | Poca Piedras | 0 | Pocas Gravas | 0 | | |
| Concrecionamiento | % | Erosión | % | Tipo de Erosión | % | | |
| Sin Concreciones | 100 | Poco Erosionado | 50 | Laminar | 100 | | |
| Pocas Concreciones | 0 | Moderadamente Erosionado | 20 | En Surco | 0 | | |
| Frecuente Concreciones | 0 | Severamente Erosionado | 30 | En Cárcava | 0 | | |
| Compactación | % | Rocosidad | % | Reacción del Suelo | % | | |
| Compacto | 20 | Sin Roca | 10 | Acido | 20 | | |
| Ligeramente Suave | 70 | Poca Rocas | 0 | Ligeramente Acido | 20 | | |
| Suave | 10 | Frecuentes Rocas | 0 | Moderadamente Acido | 60 | | |
| Materia Orgánica | % | P Asimilable | % | K Intercambiab le | % | CIC | % |
| Pobre | 70 | Rico | 60 | Rico | 30 | Inadecuado | 60 |
| Muy Pobre | 20 | Medio | 40 | Medio | 70 | Medio | 40 |
| Medio | 10 | Pobre | 0 | Pobre | 0 | Inadecuado | 0 |

Fuente: Datos de campo obtenidos en la investigación y procesados por Software ESMICA (2003).



Las Tablas 3a, 3b y 3c, muestran claramente que los suelos del SRRB son planos, bien drenados, sin piedra, sin roca, sin gravilla y sin concreciones, esto se debe a la alta mecanización y al manejo de los suelos por parte del hombre, sin embargo a pesar del alto laboreo el 93,32% son suelos ligeramente compactos, solo el 6,68% son suelos compactos, encontrándose los Usterts y Haplustalfs. Según ESMICA (2003), y Álvarez (2002), los valores de compactación y erosión no es una limitante para el cultivo de la caña de azúcar debido que la compactación solo representa 422,18 ha, que pueden ser manejable, de las 6320 ha sembradas con caña de azúcar en el SRRB. Esto se debe según Morell *et al.*, (2008), a que la erosión es un proceso de degradación inducido por el hombre al intervenir los suelos con la mecanización.

Tabla 3a. Factores limitantes de los suelos evaluados en el área del Sistema de Riego Rio Boconó.

| Factores Edáficos/Unidad de Manejo | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|------------|---------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| Suelo ¹ | Prof. Efectiva ² | Pendiente | Textura | Drenaje | Pedreg. ³ | Rocos. ⁴ |
| Usterts | Profundo | Casi Plano | L | Bien dren. ⁷ | Sin Piedra | Sin Roca |
| Haplustolls | Profundo | Casi Plano | L | Bien dren. | Sin Piedra | Sin Roca |
| Haplustalfs | Profundo | Casi Plano | FA | Bien dren. | Sin Piedra | Sin Roca |
| Tropaquepts | Media.Prof. ⁵ | Casi Plano | L | Bien dren. | Sin Piedra | Sin Roca |
| Ustropepts | Profundo | Casi Plano | L | Bien dren. | Sin Piedra | Sin Roca |
| Eutropepts | Profundo | Casi Plano | FA | Bien dren. | Sin Piedra | Sin Roca |
| Entisols | Poco Prof. ⁶ | Casi Plano | Fa | Bien dren. | Sin Piedra | Sin Roca |
| Ustipsamments | Poco Prof. | Casi Plano | FAL | Bien dren. | Sin Piedra | Sin Roca |

Fuente: Datos de campo obtenidos en la investigación y procesados por Software ESMICA (2003).

¹Suelos Predominantes en el Sistema de Riego Rio Boconó (Anexo 2). ²Profundidad,

³Pedregosidad, ⁴Rocosisdad, ⁵Medianamernte Profundo, ⁶Poco profundo, ⁷Drenado.



Tabla 3b. Factores limitantes de los suelos evaluados en el área del Sistema de Riego Rio Boconó.

| Factores Edáficos/Unidad de Manejo | | | | | |
|------------------------------------|---------------|----------------------|-------------------------|--------------|---------------------------|
| Suelo ¹ | Gravillosidad | Concre. ² | Erosión | Tipo Erosión | Compact. ³ |
| Usterts | Sin Gravilla | Sin Concre. | Poco Eros. ⁴ | Laminar | Compacto |
| Haplustolls | Sin Gravilla | Sin Concre. | Poco Eros. | Laminar | Liger. Suave ⁶ |
| Haplustalfs | Sin Gravilla | Sin Concre. | Poco Eros. | Laminar | Compacto |
| Tropaquepts | Sin Gravilla | Sin Concre. | Mod. Eros. ⁵ | Laminar | Liger. Suave |
| Ustropepts | Sin Gravilla | Sin Concre. | Poco Eros. | Laminar | Liger. Suave |
| Eutropepts | Sin Gravilla | Sin Concre. | Poco Eros. | Laminar | Liger. Suave |
| Entisols | Sin Gravilla | Sin Concre. | Severa. Eros. | Laminar | Suave |
| Ustipsamments | Sin Gravilla | Sin Concre. | Severa. Eros. | Laminar | Liger. Suave |

Fuente: Datos de campo obtenidos en la investigación y procesados por Software ESMICA (2003). ¹Suelos Predominantes en el Sistema de Riego Rio Boconó (Anexo 2). ²Concrecionamiento, ³Compactación, ⁴Erosionado, ⁵Moderadamente Erosionado, ⁶Ligeramente Suave.

Tabla 3c. Factores limitantes de los suelos evaluados en el área del Sistema de Riego Rio Boconó.

| Factores Edáficos/Unidad de Manejo | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|
| Suelo ¹ | P Asim. ² | K Interc. ³ | Materia Orgánica | Reacción Suelo | CIC ⁴ |
| Usterts | Medio | Medio | Pobre | Ligeram. ⁵ Acido | Medio |
| Haplustolls | Rico | Rico | Medio | Mediana. ⁶ Acido | Medio |
| Haplustalfs | Medio | Medio | Muy Pobre | Acido | Inadecuado |
| Tropaquepts | Medio | Medio | Pobre | Mediana. Acido | Medio |
| Ustropepts | Rico | Medio | Pobre | Mediana. Acido | Medio |
| Eutropepts | Medio | Medio | Pobre | Mediana. Acido | Inadecuado |
| Entisols | Rico | Medio | Muy Pobre | Mediana. Acido | Inadecuado |
| Ustipsamments | Rico | Medio | Pobre | Mediana. Acido | Inadecuado |

Fuente: Datos de campo obtenidos en la investigación y procesados por Software ESMICA (2003). ¹Suelos Predominantes en el Sistema de Riego Rio Boconó (Anexo 2). ²Fósforo Asimilable, ³Potasio Intercambiable, ⁴Capacidad Intercambio Catiónico, ⁵Ligeramente, ⁶Medianamente.



Los suelos Usterts, Haplustolls, Haplustalfs, Ustropepts, Eutropepts resultaron ser pocos erosionados, representando el 65,5% del área sembrada con el cultivo de caña de azúcar, mientras que los suelos Tropaquepts, Entisols y Ustipsamments fueron los más erosionados. En todos los casos la erosión es laminar. Para el área en estudio, la profundidad efectiva está determinada en dos categorías, la primera un área de 50% suelos profundos y, la segunda con el mismo valor porcentual (50%), entre poco profundo (30 % del área), y medianamente profundo (20% del área), no presentándose suelos muy profundos para esta categoría. En el SRRB, los suelos profundos están representados por Usterts, Haplustolls; Haplustalfs, Ustropepts y Eutropepts. Siendo este un factor limitante para la caña de azúcar porque este requiere de suelos profundos para su desarrollo radicular.

Todos los parámetros evaluados en el suelo fueron significativamente diferentes entre las áreas geográficas, en tanto que, independientemente del sitio, la profundidad del suelo tuvo efecto significativo para el contenido de materia orgánica, fósforo asimilable (P Asim.), y potasio intercambiable (K Interc.), como se muestra en la Tabla 4. Varios estudios edafológicos han determinado que el pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, sin embargo, los estudios realizados por investigadores de Netafim (2017), consideran que la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez del suelo con pH entre 5.0, por debajo de este valor se hace necesario la aplicación de encalado es necesario cuando el pH es inferior a 5.0.



Tabla 4. Comportamiento de las variables químicas (materia orgánica, fósforo asimilable, potasio intercambiable y reacción del suelo), por tipo de suelo en el área del Sistema de Riego Río Boconó.

| Suelo ¹ | Variables | | | | |
|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------|---------|
| | % M.O. ² | P Asim. ³ | K Inter. ⁴ | pH | % Suelo |
| Usterts | 3,03a | 60,82ab | 0,61ab | 5,50ab | 0,30 |
| Haplustolls | 1,94b | 101,57a | 0,78a | 5,32abc | 3,70 |
| Haplustalfs | 1,79b | 102,50a | 0,37c | 4,93bc | 25,91 |
| Tropaquepts | 1,67bc | 91,78a | 0,35c | 5,21abc | 58,50 |
| Ustropepts | 1,40bc | 68,86a | 0,29c | 4,76c | 2,67 |
| Eutropepts | 1,35bc | 80,98ab | 0,44bc | 5,72a | 5,72 |
| Entisols | 1,13c | 64,28ab | 0,31c | 4,78c | 1,60 |
| Ustipsamments | 1,07c | 34,33b | 0,40bc | 4,83c | 1,60 |
| R ² | 0,93 | 0,94 | 0,92 | 0,92 | ----- |
| CV | 42,82 | 57,9 | 61,54 | 13,34 | ----- |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, Tukey ($p \leq 0,01$). ¹Suelos Predominantes en el Sistema de Riego Río Boconó (Anexo 2). ²Materia Orgánica. ³Fósforo Asimilable. ⁴Potasio Intercambiable.

Lo anterior hace pensar que los suelos Usterts, Haplustolls, Tropaquepts y Eutropepts se encuentran en este rango por lo que se considera aceptable, con pH 5,50; 5,32; 5,21 y 5,72 respectivamente. Sin embargo, los restantes suelos Haplustalfs (4,93), Ustropepts (4,76), Entisols (4,78), y Ustipsamments (4,83), están por debajo de estos valores óptimos de pH, no encontrando la aplicación de enmiendas para corregir la acidez del suelo, quizás esto explique los bajos rendimientos agrícolas presentados en la Tabla 5. Por su parte, Mora (2011), afirma que la caña de azúcar no exige ningún tipo específico de suelo y puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de éste, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos, además de un pH que oscile entre 5.5 y 7.8 para su óptimo desarrollo. Esto confirma lo expuesto por los investigadores de Netafim (2017 Ob. cit.).



En la Tabla 5, se presentan los rendimientos agrícolas, Toneladas de Caña por Hectárea (TCH), e industriales, Tonelada de Azúcar por Hectárea (TAH), evaluados en los suelos con respecto a los factores limitantes y su relación con las 17 variedades de caña de azúcar existentes en el SRRB. Observándose que los rendimientos fueron significativamente diferentes entre áreas cultivadas, en tanto que, independientemente del sitio, el mayor rendimiento agrícola se obtuvo con la variedad CR87-339 con 99,00 TCH no así el rendimiento industrial la cual se dio mejor en la variedad CR74-250 y RB85-5546 (8,70 y 8,31 TAH respectivamente).

El rendimiento agrícola de la mayoría de las variedades de caña cultivadas en el SRRB fueron superiores al rendimiento agrícola promedio de 69,93 TCA, no así las variedades B74-118, B80-408, SP70-1284, PR1013 que estuvieron por debajo al promedio. Sin embargo, en las variedades existentes en el SRRB, el rendimiento industrial están por encima del promedio estadístico (7,33 TAH), a excepción de las variedades PR69-4 (5,47 TAH), B74-118 (6,95 TAH), y PR-1013 (5.12 TAH). Que obtuvo el rendimiento industrial más bajo. Esta diferencia en donde el rendimiento industrial superan el rendimiento agrícola se debe a la fertilidad del suelo y a las pocas limitaciones que este ofrece al cultivo de la caña de azúcar, tomando en cuenta la fertilidad mostrada en el Tabla 4, donde el fosforo asimilable y potasio ofrecen suficientes cantidades de estos nutriente al cultivo de la caña de azúcar, aunque el bajo contenido de la materia orgánica pudiera ser una limitante, sin embargo, el cultivo respondió muy bien en cuanto al rendimiento agrícola.



Tabla 5. Comparación de los rendimientos agrícolas e industriales por variedad en el área del Sistema de Riego Rio Boconó influenciados por los factores limitantes de los suelos.

| Variedad | Variable | | | | | |
|----------------|-------------|-------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------|
| | % Población | Área Parcela (ha) | Área Total Variedad (ha) | TCH ¹ | TAH ² | % Variedad |
| CR87-339 | 86,59a | 11,54ab | 114,39cd | 99,00a | 7,42abc | 1,81 |
| PR69-4 | 85,00a | 20,91a | 41,71e | 95,00b | 5,47bc | 0,66 |
| CR74-250 | 80,00ab | 12,23ab | 15,17f | 75,00abc d | 8,70a | 0,24 |
| VADES* | 79,66ab | 2,81b | 5,69g | 80,00bc | 7,28abc | 0,09 |
| CR89-337 | 75,50ab | 11,00ab | 21,49f | 90,00b | 7,26abc | 0,34 |
| V84-8 | 74,88ab | 8,91ab | 35,39e | 75,00bc | 7,81ab | 0,56 |
| C266-70 | 69,02abc | 10,62ab | 1451,70ab | 69,74abc d | 7,73ab | 22,97 |
| C323-68 | 65,69abc | 10,00ab | 970,12b | 65,46abc d | 7,44abc | 15,35 |
| RB85-5546 | 65,63abc | 11,57ab | 68,89de | 80,18bc | 8,31a | 1,09 |
| V75-6 | 65,50abc | 8,75ab | 623,78bc | 63,78abc d | 7,28abc | 9,87 |
| CP74-2005 | 65,37abc | 7,82ab | 629,47bc | 69,35bcd | 7,74ab | 9,96 |
| RB73-9735 | 65,23abc | 11,13ab | 1829,01a | 67,76abc d | 7,73ab | 28,94 |
| PR61-632 | 63,67abc | 5,75b | 34,13e | 65,67abc d | 7,38abc | 0,54 |
| B74-118 | 63,20abc | 12,98ab | 154,21cd | 49,28cd | 6,95abc | 2,44 |
| B80-408 | 60,25abc | 9,39ab | 223,10c | 59,01bcd | 7,21abc | 3,53 |
| SP70-1284 | 57,14abc | 10,30ab | 81,53d | 49,50cd | 7,83ab | 1,29 |
| PR1013 | 46,90c | 10,55ab | 20,86f | 35,00d | 5,12c | 0,33 |
| R ² | 0,91 | 0,94 | 0,9 | 0,91 | 0,93 | ----- |
| CV | 17,31 | 60,41 | 65,87 | 23,68 | 13,43 | ----- |
| \bar{X} | ----- | 10,37 | ----- | 69,93 | 7,33 | ----- |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, Tukey ($p \leq 0,01$). ¹Toneladas de Caña por Hectárea. ²Tonelada de Azúcar por Hectárea. *Mezcla de Variedades.



Se puede apreciar que estadísticamente las parcelas están poco pobladas, siendo el promedio del porcentaje de población, 68,80% de área agrícola real con caña de azúcar. Esto indica que el 31,20% del área esta despoblada siendo este un factor que no se le atribuye al suelo por sus características físicas, químicas y biológicas sino más a los factores provocados por la acción antrópica, es decir al manejo por parte del productor al descuidar las labores de manejo del cultivo permitiendo la proliferación de arvenses, el deterioro de las plantas por ataques de insectos plagas y enfermedades y probablemente por estrés hídrico en la etapa de crecimiento vegetativo del cultivo según como lo afirman Morell *et al.*, (2008), y Álvarez (2002).

4. CONCLUSIONES

En el Sistema de Riego Rio Boconó (SRRB), predominan los suelos Ustropepts (58,50% del área), y Tropaquepts (25,91% del área); los cuales son planos, bien drenados, sin piedra, sin roca, sin gravilla y sin concreciones; ligeramente compactos (84,41% del área cultivada con caña de azúcar), no siendo limitantes para el cultivo. No obstante, en un 50% del área, son suelos profundos y el restante 50% se encuentran entre poco profundo y medianamente profundo; aunque la profundidad es una limitante, son considerados aptos para el cultivo de la caña de azúcar.

Los suelos, en su mayoría, son pobres en materia orgánica (93,17% del área), ricos en fosforo asimilable (67,19% del área), medio en potasio intercambiable (99,55% del área), pH ligeramente ácido (93,17% del área), y CIC adecuada (87,68% del área), no siendo una limitante para el cultivo de la caña de azúcar a excepción de la materia orgánica que no representa en estos momentos una limitación seria, sin embargo, hay que monitorear la evolución de la misma cuando se cultivan estos suelos con caña de azúcar puede disminuir si no se manejan bien.

Existe una mezcla varietal diversa (17 variedades), siendo las más predominante RB73-9735 (28,94% del área), C266-70 (22,97% del área), y C323-68 (15,35% del área). Los bajos rendimientos promedios (68,80 TCH y 7,33 TAH), se deben más a factores provocados por la acción antrópica que por las limitantes intrínsecas del suelo, debido que en investigaciones realizadas se ha demostrado que la fertilidad de los suelos en el SRRB es media, esto se observo



en aéreas donde el productor se limitó a fertilizar el cultivo por restricciones económicas y el cultivo arrojó rendimientos cercanos al promedio general encontrado en el SRRB.

Son varios los factores del suelo que limitan el rendimiento del cultivo de caña de azúcar; no obstante, esto tiene que ser considerados al momento que se establezca una meta de rendimiento, debido que, estos indican si aplicar o no productos fertilizantes al suelo. Además, evaluar los factores que limitan el suelo en caña de azúcar es elemental para lograr un manejo eficiente y se puede conocer los tipos de suelos presentes, sus propiedades, área, y factores edáficos limitantes para la producción de caña de azúcar lo cual constituye un elemento importante para lograr una agricultura sustentable.

Recomendaciones

Diseñar un programa de extensión y capacitación rural que permita a los usuarios y usuarias del Sistema de Riego Rio Boconó (productores, productoras, técnicos y profesionales asesores), obtener conocimientos sobre el manejo del comportamiento de los diferentes factores limitantes del suelo, teniendo en cuenta los contenidos actuales de nutrientes, las condiciones climáticas y los rendimientos de los distintos cultivo existentes. Así como, una zonificación más acertada y controlada de la diversidad de variedades encontradas de manera que se pueda dar un buen manejo integral de la fertilización, la fitosanidad (plagas y enfermedades), y el control de arvenses, vistos que todos estos factores están relacionados con el suelo.

Agradecimiento

A la Corporación Venezolana Agraria-Azúcar (CVA-Azúcar), al Complejo Agroindustrial Azucarero Ezequiel Zamora, S.A. (CAAEZ, S. A.), a los Técnicos de Campo de la Gerencia Agrícola del CAAEZ, S.A., a la Red de Productores y Productoras Libres y Asociados (REPLA), por su valiosa colaboración en la recolección de la información de campo durante el desarrollo de esta investigación.



Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado al Ingeniero Agrónomo Luis Alberto Hernández Aguilar (†), quien se desempeñó como Especialista en Riego y Drenaje, en la Gerencia Agrícola del Complejo Agroindustrial Azucarero Ezequiel Zamora, S. A. (CAAEZ, SA), y Asesor en el Sistema de Riego Río Boconó (SRRB), durante el periodo 2006-2016.

REFERENCIAS

- Álvarez, J. (2002). Caracterización y manejo de los principales factores edáficos limitantes de la agroproductividad de los suelos. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
- Becerra, C., Madero, E., Herrera, O. y Amézquita, E. (2005). Caracterización espacial de la compactación en terrenos agrícolas de CIAT, Colombia. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG, 8(16), 33-37.
- ESMICA. (2003). Estudio de suelos para el manejo integral de la caña de azúcar del CAAEZ, SA. Software Versión 1.0. Libro Anexo. La Habana, Cuba: Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Guaygua, G., y Espinoza, D. (2013). Muestreo de suelos e interpretación de resultados de laboratorio. Bolivia: Fundación CETABOL.
- Hernández, A. (1990). Informe sobre los suelos y sus factores limitantes para la caña de azúcar en el ingenio La margarita, de Cuba. Oxaca, Cuba: Instituto de Investigación de la Caña de Azúcar (INICA).
- INIA. (2016). Registro pluviométrico años 2000-2015. Barinas, Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).



- Lizcano, R., Olivera, D., Saavedra, D., Machado, L., Rolando, E., Moreno, M., y otros. (2017). Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos. Huila, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).
- Mesa, A. (1993). Evaluación de suelos para la caña de azúcar del Fundo Gran Chaparral de la Amazonía Peruana. La Habana, Cuba: IPROYAZ, Ministerio de Azúcar.
- Morell, F., López, D. y Hernández, A. (2008). Finca La Rosita. II: Factores limitantes de los suelos. *Cultivos Tropicales*, 29(2), 17-20.
- Netafim. (2017). Caña de Azúcar. Israel: Netafim ACS.
- Pérez-Figueredo, H. (2005). Manual de procedimientos de suelos y agroquímicos. Barinas, Venezuela: Gerencia Agrícola, CAAEZ, S.A.
- Pérez-Figueredo, H. (2013). Fertirrigación nitrogenada reducida en rendimiento de caña de azúcar. *Investigaciones Interactivas*, 3(20), 94-114.
- Roldós, J. (1986). Algunos factores edáficos limitantes de la producción de la caña de azúcar en Cuba. La Habana, Cuba: INICA.
- SERFE. (1999). El recurso suelo en el cultivo de la caña de azúcar. La Habana, Cuba: Servicio de Recomendaciones de Fertilizantes y Enmiendas, INICA.
- Shishov, L., Tonkonogov, V. y Lebedeva, I. (2000). Clasificación de suelos de Rusia. Moscú, Rusia: Instituto de Suelos. V. V. Dokuchaev.
- Swift, M., y Woome, P. (1993). Organic matter and the sustainability of agricultural systems: Definition and measurement. In: *Soil Organics Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. (M. Merckx, Ed.). New York, USA: Ed. John Wiley and Sons.
- Wagner, M., Rincones, C., Medina, G. y Mujica, M. (1988). Efecto de láminas y frecuencias de riego sobre el rendimiento de la caña de azúcar (*Saccharum* sp), en un suelo Mollisol. *Revista Caña de Azúcar*, 6(1), 24-39.

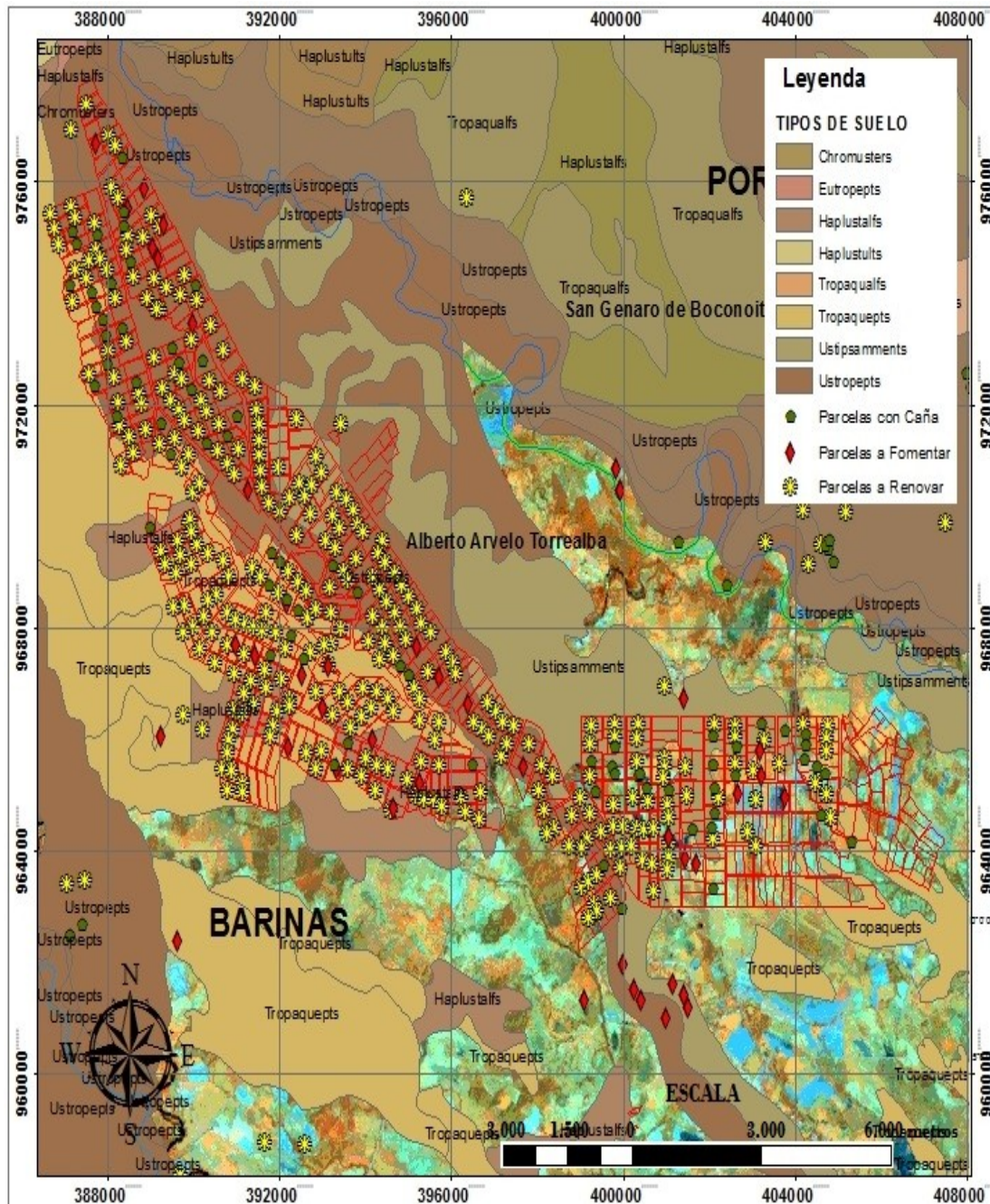


Anexo 1. Códigos de los factores limitantes del suelo.

| | | |
|---|--------------------------------|------------------------------|
| 1 Profundidad Efectiva | 2 Pendiente del Terreno | 3 Textura |
| 1 Muy profundo | 1 Plano o casi plano | 03 Franco arcilloso |
| 2 Profundo | 2 Ondulado | 04 Limoso |
| 3 Medianamente profundo | 3 Fuertemente ondulado | 06 Franco arcillolimoso |
| 4 Poco profundo | 4 Colinoso | 10 Franco arenoso |
| 4 Drenaje | 5 Pedregosidad | 6 Rocosidad |
| 1 Excesivamente drenado | 1 Ninguna piedra | 1 Ninguna roca |
| 2 Algo excesivamente drenado | 2 Muy pocas piedras | 2 Muy pocas rocas |
| 3 Bien drenado | 3 Poca piedras | 3 Pocas rocas |
| 4 Moderadamente bien drenado | 4 Frecuentes piedras | 4 Frecuentes rocas |
| 7 Gravillosidad | 8 Concrecionamiento | 9 Erosión |
| 1 Sin gravilla | 1 Sin concreciones | 1 Sin erosión |
| 2 Muy pocas gravillas | 2 Pocas concreciones | 2 Poco erosionado |
| 3 Pocas gravas | 3 Frecuente concreciones | 3 Moderadamente erosionado |
| 4 Frecuentes gravas | 4 Abundante concreciones | 4 Severamente erosionado |
| 10 Tipo de Erosión | 11 Compactación | 12 Fosforo Asimilable |
| 1 Laminar | 1 No coherente | 1 Rico |
| 2 En surco | 2 Suave | 2 Medio |
| 3 En cárcava | 3 Ligeramente suave | 3 Pobre |
| 13 Potasio Intercambiable | 4 Compacto | |
| 1 Rico | 14 Materia Orgánica | 15 Reacción del Suelo |
| 2 Medio | 1 Muy rico | 1 Muy acido |
| 3 Pobre | 2 Rico | 2 Acido |
| 16 Capacidad Intercambio Catiónico | 3 Medio | 3 Moderadamente acido |
| 1 Adecuado | 4 Pobre | 4 Ligeramente acido |
| 2 Medio | 5 Muy pobre | |
| 3 Inadecuado | | |

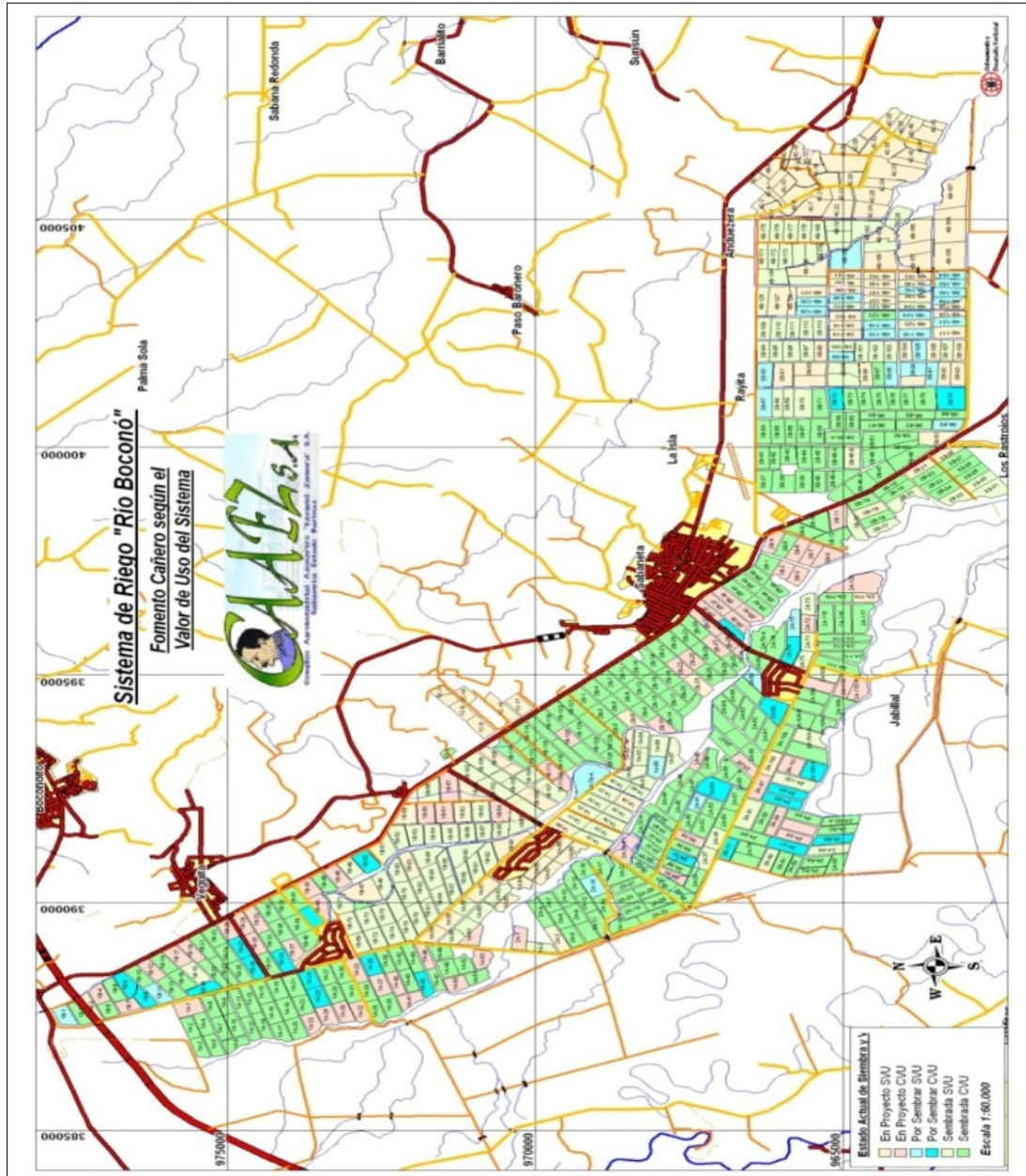
Fuente: Elaborado en la investigación a través del Software ESMICA (2003).

Anexo 2. Mapas de tipos de suelos predominantes en el Sistema de Riego Rio Boconó representando las parcelas con el cultivo de caña de azúcar.



Fuente: Elaborado en la investigación a través del Software ESMICA (2003).

Anexo 3. Plano del Sistema de Riego Rio Boconó representando la distribución de las parcelas con el cultivo de caña de azúcar.



Fuente: Elaborado en la investigación a través del Software ESMICA (2003).