

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

NIVELACIÓN Y DRENAJE DE TERRENOS UTILIZANDO EL SISTEMA *REAL TIME KINEMATIC* PARA  
EL ESTABLECIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR EN BELICE

SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

**ENRIQUE JOSÉ SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**

CARNET 12330-09

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2017  
CAMPUS CENTRAL

**UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS  
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

NIVELACIÓN Y DRENAJE DE TERRENOS UTILIZANDO EL SISTEMA *REAL TIME KINEMATIC* PARA  
EL ESTABLECIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR EN BELICE

SISTEMATIZACIÓN DE PRÁCTICA PROFESIONAL

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR  
**ENRIQUE JOSÉ SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA EN EL GRADO  
ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2017  
CAMPUS CENTRAL

## **AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR**

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.  
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO  
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO  
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.  
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS  
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

## **AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS  
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ  
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA  
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

## **NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

## **TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN**

ING. GUSTAVO ADOLFO MÉNDEZ GÓMEZ  
ING. HARRY FLORENCIO DE MATA MENDIZABAL  
ING. LUIS FELIPE CALDERON BRAN

Guatemala 9 de Mayo de 2016

Consejo de Facultad  
Ciencias Ambientales y Agrícolas  
Presente

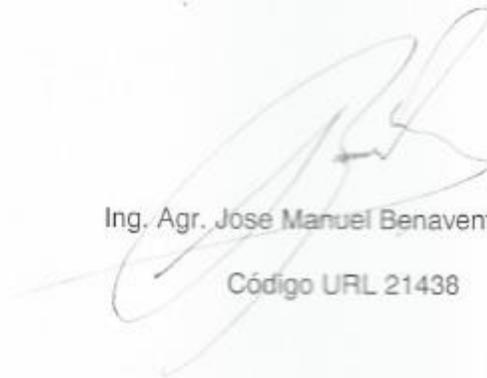
Estimados miembros del Consejo

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Enrique José Sánchez Rodríguez, carné 12330-09, titulado:

**“Nivelación y drenaje de terrenos utilizando el sistema Real Time Kinematic para el establecimiento del cultivo de la caña de azúcar en Belice”**

El cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la facultad para que le sea asignada la terna revisora

Atentamente,



Ing. Agr. Jose Manuel Benavente Mejía

Código URL 21438

**Orden de Impresión**

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Sistematización de Práctica Profesional del estudiante ENRIQUE JOSÉ SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, Carnet 12330-09 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA, del Campus Central, que consta en el Acta No. 066-2017 de fecha 26 de enero de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**NIVELACIÓN Y DRENAJE DE TERRENOS UTILIZANDO EL SISTEMA *REAL TIME KINEMATIC* PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR EN BELICE**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 4 días del mes de octubre del año 2017.



**MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO**  
**CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS**  
**Universidad Rafael Landívar**



## **AGRADECIMIENTOS**

Empiezo agradeciendo a mis padres ya que sin su apoyo incondicional nada de esto pudiera haber sido posible. Quiero agradecer también a mi hermana por su apoyo y comprensión después de todos estos años así como a mis abuelos los cuales siempre han sido una figura muy importante para mi persona. Me gustaría agradecer a mis amigos los cuales han sido un apoyo muy grande y con los que guardo una relación muy estrecha.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a todas aquellas personas que trabajan en el sector azucarero ya que es una industria muy exigente donde el trabajo es sumamente sacrificante, duro, y muchas veces, poco reconocido como tal.

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN.....  | i. |
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| 2. ANTECEDENTES .....   | 3  |
| 2.1 REVISIÓN DE LITERATURA .....                                  | 3  |
| 2.1.1 La caña de azúcar.....                                      | 3  |
| 2.1.2 Nivelación de terrenos .....                                | 5  |
| 2.1.3 Sistema de Real Time Kinematic .....                        | 7  |
| 2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA..... | 9  |
| 2.2.1 Finca La Gloria.....  | 11 |
| 2.2.2 Organigrama de la empresa Santander Farms.....              | 14 |
| 3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA.....                                   | 15 |
| 3.1 EJE DE SISTEMATIZACIÓN.....                                   | 15 |
| 3.2 NECESIDAD EMPRESARIAL .....                                   | 15 |
| 3.3 JUSTIFICACIÓN.....  | 16 |
| 4. OBJETIVOS .....  | 17 |
| 4.1 GENERAL .....   | 17 |
| 4.2 ESPECÍFICOS.....  | 17 |
| 5. PLAN DE TRABAJO .....  | 18 |
| 5.1 PROGRAMA DESARROLLADO .....                                   | 18 |
| 5.1.1 Otras actividades: .....                                    | 18 |
| 5.2 INDICADORES DE RESULTADO .....                                | 19 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3 CRONOGRAMA .....  | 20 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                  | 21 |
| 6.1 METODOLOGÍA PARA REALIZAR UNA NIVELACIÓN MEDIANTE RTK ..... | 21 |
| 6.2 PENDIENTE Y ORIENTACIÓN DEL TERRENO A NIVELAR.....          | 24 |
| 7. CONCLUSIONES .....   | 39 |
| 8. RECOMENDACIONES.....   | 40 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA .....   | 41 |
| 10. ANEXOS .....  | 43 |

### **ÍNDICE DE CUADROS**

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Distribución de las fincas propiedad de Santander Farms .....                        | 10 |
| Cuadro 2. Cronograma de actividades a realizar durante la práctica profesional .....           | 20 |
| Cuadro 3. Parámetros básicos de nivelación de la ZONA A obtenidos a través de OptiSurface..... | 27 |
| Cuadro 4. Parámetros básicos de nivelación de la ZONA B obtenidos a través de OptiSurface..... | 31 |
| Cuadro 5. Parámetros básicos de nivelación de la ZONA C obtenidos a través de OptiSurface..... | 35 |

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Imagen de la ubicación general del proyecto (Segura, 2015). .....                              | 12 |
| Figura 2. Lugar donde se llevará a cabo la sistematización de práctica profesional (Segura, 2015). ..... | 13 |
| Figura 3. Organigrama de la empresa Santander Farms (Ruiz, 2015).....                                    | 14 |
| Figura 4. Topografía obtenida a través del levantamiento del Campo 17. ....                              | 24 |
| Figura 5. Sub zonas creadas a partir las orientaciones de pendiente naturales del terreno .....          | 25 |
| Figura 6. Canales de drenaje necesarios.....   | 26 |
| Figura 7. Mapa de corte y relleno para la ZONA A. ....   | 28 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 8. Mapa de las distintas pendientes de la ZONA A. ....  | 29 |
| Figura 9. Resultado de nivelación en la ZONA A. ....   | 30 |
| Figura 10. Mapa de corte y relleno para la ZONA B. ....  | 32 |
| Figura 11. Mapa de las distintas pendientes existentes en la ZONA B. ....  | 33 |
| Figura 12. Mapa del resultado de la nivelación en la ZONA B. ....  | 34 |
| Figura 13. Mapa de corte y relleno para la ZONA C. ....  | 36 |
| Figura 14. Mapa de las distintas pendientes existentes en la ZONA C. ....  | 37 |
| Figura 15. Mapa del resultado de la nivelación en la ZONA C. ....  | 38 |
| Figura 16. Construcción del canal que se encuentra entre la ZONA A y ZONA B y que se encarga de recolectar y drenar el agua de ambas. .... | 43 |
| Figura 17. Construcción del canal que se encuentra entre la ZONA A y ZONA B y que se encarga de recolectar y drenar el agua de ambas. .... | 43 |
| Figura 18. Excavadora utilizada para hacer el canal de drenaje entre las zonas A y B. ....   | 44 |
| Figura 19. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra. ....   | 44 |
| Figura 20. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra. ....   | 45 |
| Figura 21. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra. ....   | 45 |
| Figura 22. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra. ....   | 46 |
| Figura 23. Tractor con niveladora durante el proceso de nivelación del Campo 17. ....  | 46 |
| Figura 24. Tractor con niveladora durante el proceso de nivelación del Campo 17. ....  | 47 |
| Figura 25. Campo 17 totalmente nivelado y listo para la siembra. ....  | 47 |

## Nivelación y drenaje de terrenos utilizando el sistema *Real Time Kinematic* para el establecimiento de caña de azúcar en Belice

### RESUMEN

El objetivo de la práctica profesional fue el de participar en actividades de nivelación de terrenos mediante el sistema de Real Time Kinematic en el Campo 17 de la finca La Gloria propiedad de la empresa Santander Farms Ltd. ubicada en el distrito de Cayo, Belice. Durante la práctica se trabajó en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la empresa donde se comenzó estableciendo los pasos y la metodología para poder nivelar a partir del sistema de RTK (Real Time Kinematic). A partir de esto se configuró todo el equipo acorde a la necesidad y se realizó el levantamiento topográfico necesario para después crear el diseño del campo en el programa de OptiSurface. El campo se niveló con éxito dividiéndose el campo en tres zonas, la ZONA A, B y C. Las tres zonas tuvieron movimientos de entre 210 y 307 m<sup>3</sup>/ha y una pendiente principal mínima de 0.20%. En promedio hubo un movimiento de tierra de 277 m<sup>3</sup>/ha en la totalidad del Campo 17. Al final se pudo recomendar este tipo de nivelación siempre y cuando fuera una zona con suelos muy arcillosos, con pendiente pobre, con problemas de encharcamiento y en proyectos donde el tiempo es una limitante y también donde exista mucha área para nivelar dado que el equipo tiene un costo elevado y es la única forma de rentabilizarlo.

# 1. INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) se cultiva en las regiones tropicales y subtropicales del planeta y procedente del sureste asiático. La caña de azúcar es una de las dos plantas capaces de fijar azúcares en su tallo, razón de su importancia económica.

Belice es una nación soberana ubicada en las costas del Mar Caribe al norte de América Central. El país goza de una extensión de 22,966 kilómetros cuadrados y de un clima tropical apto para el cultivo de la caña de azúcar. El país cuenta con dos ingenios azucareros, el primero es propiedad de BSI (Belize Sugar Industries) se ubica en la parte norte del país, específicamente en el distrito de Orange Walk. Éste ingenio procesa la caña de algo más de 5 mil productores independientes distribuidos en un área de entre 23,100 y 26,300 ha cultivadas entre Orange Walk y el distrito de Corozal. El segundo ingenio es propiedad de Santander Group y está actualmente en construcción, se prevé que empiece con su primera zafra en el año 2016. Santander Group se divide en Santander Sugar encargada de la parte industrial y Santander Farms encargada de la parte agrícola. El proyecto inició en el año 2011 iniciando con la siembra de los primeros campos en el año 2013. El proyecto cuenta con algo más de 10 mil hectáreas de las cuales 3,300 ha se encuentran sembradas al 2015.

Debido a que los suelos propiedad de Santander Farms son arcillosos, su tasa de infiltración es muy baja. Considerando los registros de precipitación históricos para el caso de la Finca La Luz (propiedad de Santander Farms) se encuentran en el rango de 1,800 mm a 2,000 mm anuales es necesario nivelar los terrenos para evitar el anegamiento de las tierras y de esta forma permitir establecer el cultivo de caña de azúcar. El encharcamiento imposibilita la germinación de la semilla y estanca el crecimiento de la planta, si el encharcamiento es prolongado, puede llegar a provocar la muerte. La nivelación se estaba llevando a cabo con tractores con un implemento de nivelación y con el moderno sistema de láser. El problema de éste método es que resulta muy costoso y tomaba demasiado tiempo así que se decidió optar por el sistema de Real Time Kinematic (RTK). Éste sistema nunca había sido utilizado en Belice ni en

Guatemala para el cultivo de caña de azúcar por lo cual es algo innovador para el sector agrícola. Mediante este sistema se lograría nivelar los terrenos a un menor costo y de forma más rápida. En el siguiente trabajo de investigación se pretende determinar la metodología para poder nivelar un campo mediante el sistema de RTK así como la efectividad de dicho sistema.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1.1 La caña de azúcar

La caña de azúcar es una gramínea monocotiledónea que es cultivada en las regiones tropicales y subtropicales de la Tierra debido a su habilidad de concentrar altas cantidades de azúcares cristalizables en los entrenudos de sus tallos. Las variedades modernas de la caña de azúcar son complejos híbridos que han surgido a partir de la selección artificial y a partir del cruce de las especies *Saccharum officinarum* L. y *S. spontaneum* L (Cox et al, 2000).

La caña de azúcar se origina en el sureste asiático y en la zona de la Polinesia. Se cree que la caña tuvo su origen en la zona de Indonesia y Papúa Nueva Guinea y que ésta fue transportada al resto del continente asiático por los humanos. La caña de azúcar fue domesticada y ha sido cultivada desde aproximadamente el año 2,500 a.C (Office of the Gene Technology Regulator, 2004).

A continuación se detalla la clasificación taxonómica de la caña de azúcar:

Clase: Monocotiledónea

Orden: Glumiflorae

Familia: Poaceae

Género: *Saccharum*

Especie: *Saccharum officinarum* (Office of the Gene Technology Regulator, 2004).

La caña de azúcar requiere de temperaturas elevadas para su desarrollo. La temperatura óptima para su desarrollo se sitúa entre los 27 y 33°C. A temperaturas inferiores a 20°C el crecimiento de la planta prácticamente se estanca. A temperaturas superiores a los 35°C la respiración de la planta aumenta pero la tasa fotosintética se ve disminuida. Debe de mencionarse que una amplitud térmica elevada donde exista una diferencia de temperatura con noches frescas y días calurosos favorece la maduración de la caña y la

acumulación de azúcares cristalizables en los tallos. Este es un factor deseable entre 4 y 6 semanas antes de la cosecha. En cuanto al régimen de precipitaciones, se requiere como mínimo entre 1,200 y 1,500 mm distribuidos a lo largo del año (Subirós, 2000).

En cuanto al tipo de suelo, la caña de azúcar se puede adaptar a diferentes ambientes aunque se desarrolla mejor en suelos con ciertas características. La textura debe de ser preferiblemente franco arcilloso, franco limoso o franco arenoso con una buena estructura y con la capacidad de retener humedad. El horizonte A debe de ser profundo y el suelo debe de tener excelentes condiciones de drenaje, características que se deben de presentar al menos en los primeros 50 centímetros del suelo ya que en esa zona es donde se concentran la mayor cantidad de raíces de este cultivo. El nivel freático debe de estar profundo para un correcto desarrollo, preferiblemente a profundidades mayores a los 75 cm. Los suelos muy arcillosos tienen la característica de presentar más limitaciones físicas debido a que representa un problema para las raíces a la hora de que estas desean profundizar. También suelen presentar problemas de aireación debido a su reducido espacio poroso así como problemas de encharcamiento (Subirós, 2000).

### **El cultivo de la caña de azúcar en Belice**

La caña de azúcar se cultiva principalmente en la región norte del país, específicamente en los distritos de Orange Walk y Corozal. El área cultivada es trabajada por más de 5,300 agricultores cubriendo un área de entre 23,100 y 26,300 hectáreas de tierra. La caña de azúcar es procesada en el ingenio azucarero de BSI (Belize Sugar Industries). El ingenio tiene una capacidad de molienda de entre 6 mil y 7 mil toneladas de caña cruda diaria. Actualmente el mercado beliceño goza de un acuerdo con la Unión Europea donde cuenta con un mercado preferencial, es decir, Belice tiene preferencia de venta con la Unión Europea frente otros países. Este acuerdo expirará en el año 2017 (Belize Chamber of Commerce and Industry, s.f.).

### **2.1.2 Nivelación de terrenos**

La nivelación consiste en eliminar las irregularidades del terreno con el objetivo de facilitar el drenaje y la salida del agua de los campos. La nivelación de terrenos no se debe de realizar en terrenos con una pendiente constante y pronunciada ya que estos ya cuentan con un buen drenaje. Los suelos que cuentan con mucha pendiente es recomendable hacerles curvas a nivel o surquear perpendicular a la pendiente principal para prevenir así una erosión excesiva y permitir conservar el suelo de una mejor forma (Subirós, 2000).

En terrenos con muchas irregularidades, con poca pendiente o con características de suelo que no permitan un drenaje por infiltración (suelos arcillosos) la nivelación es necesaria. La nivelación del terreno debe de tener una pendiente principal de entre 2 y 4 metros por cada mil metros o el equivalente a 0.20% ya que se ha determinado que en los suelos arcillosos de la zona una pendiente superior a ésta logra drenar de forma eficiente los campos sin elevar demasiado los movimientos de tierra durante la nivelación. En algunos casos será aceptable una pendiente principal menor, en especial, cuando el movimiento de tierra se eleve demasiado ya que el costo de nivelación sería demasiado elevado. La pendiente secundaria no siempre es necesaria y dependerá de cada campo. En caso de ser necesaria ésta puede ser bastante más baja que la pendiente principal y puede ser menor a 1 metro de desnivel por cada mil metros de distancia. La pendiente máxima debe de ser preferiblemente inferior al 1% aunque en pequeños tramos se puede aceptar una pendiente mayor (López, 2015).

La nivelación de terrenos tiene distintos objetivos y finalidades entre las cuales se encuentra:

1. Facilitar el drenaje:

Debido a que existe una pendiente el agua logra correr por gravedad y salir del campo a través de los surcos hasta llegar a los canales de drenaje. De esta forma se evitan encharcamientos provocados tanto por la lluvia como por el riego. Los encharcamientos y la permanencia de la caña en condiciones de anegamiento

son sumamente perjudiciales para el cultivo, en especial, durante las primeras etapas (John Deere, 2008).

2. Permitir el riego por gravedad:

La pendiente proporcionada por la nivelación permite poder distribuir el agua por gravedad a través del campo lo que proporciona una forma fácil, simple y sobre todo barata de regar el campo (John Deere, 2008).

3. Facilitar la germinación de la semilla y el desarrollo de las plantas:

Debido a que el agua puede ser conducida a las plantas sin provocar encharcamiento la germinación de la semilla y el desarrollo de las plantas se ve beneficiada gracias a estas condiciones favorables. El encharcamiento provoca que el espacio poroso donde debería de haber aire sea reemplazado por agua. Esto provoca que las plantas no puedan realizar un intercambio gaseoso (en especial el proceso de respiración). Las plantas que ya han germinado pueden realizar intercambio gaseoso en sus hojas aunque si existe encharcamiento en el suelo no podrán realizar intercambio gaseoso en las raíces lo cual provoca un estancamiento en el crecimiento, reduce considerablemente la biomasa de la planta y durante un período muy prolongado puede llegar a provocar la muerte de la planta. En plantas que aún no han germinado, debido a que la respiración es una fase crucial en la germinación y ésta requiere de intercambio gaseoso, en un suelo encharcado se puede producir la muerte de la semilla. Esto se agrava en suelos muy pesados donde existe un espacio poroso muy reducido y por lo tanto los espacios de aire son menores y la tasa de infiltración del agua es bastante baja (Subirós, 2000).

4. Reducir la cantidad de malas hierbas:

Debido a que se reduce el número de zanjones y canales dentro del campo, el número de zonas con condiciones favorables para las malas hierbas se ve reducido. Los zanjones presentan condiciones favorables ya que son zonas donde no hay caña cultivada y donde existen condiciones que permiten su desarrollo gracias a la constante humedad, radiación solar y microclima (Deliberto y Salassi, 2010).

5. Facilitar la mecanización:

Debido a que la pendiente es constante y que no existen irregularidades en el terreno, las labores de mecanización se ven facilitadas y favorecidas ya que no existe la necesidad de subir y bajar los implementos gracias a una pendiente constante, permite a los tractores un fácil acceso donde existe un menor número de canales y de obstáculos y donde tienen un trayecto más suave y homogéneo al atravesar el campo. Además, la cosecha mecanizada se ve altamente favorecida ya que se permite a la cosechadora dar un corte al ras del suelo donde se aprovecha al máximo la caña ya que no se deja trozos de tallo sin cortar y además las cuchillas no chochan contra el suelo lo cual provoca la pérdida de cepa en el campo de cultivo y reduce la producción de caña en años futuros. También gracias a que el terreno es drenado rápidamente gracias a la pendiente, las máquinas pueden entrar poco tiempo después de que el campo haya estado expuesto a condiciones de humedad (Deliberto y Salassi, 2010).

6. Facilitar las labores:

Debido a la homogeneidad del terreno, todas las labores se ven facilitadas incluyendo las labores de aplicación de productos fitosanitarios (Deliberto y Salassi, 2010).

7. Aumentar la producción:

Debido a que hay menor cantidad de canales y zanjones así como una planta más saludable gracias a que se evitan los encharcamientos se estima que en suelos muy arcillosos como en los suelos de Luisiana se podrían obtener entre 20 y 32 hectáreas de zona cultivable por cada 405 hectáreas cultivadas sin nivelación (Deliberto y Salassi, 2010).

### **2.1.3 Sistema de Real Time Kinematic**

El sistema de RTK o Real Time Kinematic, cuya traducción literal al español sería navegación cinética satelital en tiempo real, es un sistema de navegación satelital que utiliza la comunicación del satélite, una estación base y la unidad o aparato realizando las mediciones. La estación base es un punto fijo que no cambia el cual se conoce su altura y su posición exacta con coordenadas, la cual debe de permanecer fija y estable.

La estación base corrige el error que existe entre la comunicación del satélite y el receptor (aparato que se encuentra realizando las mediciones) dando así una medida más exacta, con un error inferior a los 2 centímetros. Para realizar mediciones de forma práctica se debe de construir una estación base inmóvil e instalar el equipo receptor en un tractor con una pantalla FMX. El receptor no se podrá alejar más de 3 kilómetros en un terreno plano ya que la calidad de la señal se verá degradada y no se podrá llevar a cabo las mediciones con el RTK. Si el terreno es muy quebrado la señal se puede ver degradada a una menor distancia (López, 2015).

Para realizar una nivelación mediante RTK es necesario adquirir un equipo de estación base RTK, adquirir las licencias necesarias así como adquirir una pantalla compatible con el sistema (FMX en el caso de TRIMBLE) y las antenas receptoras a ser instaladas en el tractor. A partir de esto se deben de adquirir los módulos de WM Survey el cual se encarga de realizar los levantamientos topográficos y Field Level II el cual es la versión más reciente del módulo de nivelación RTK. Luego de esto se debe de realizar un levantamiento topográfico con el WM Survey y a continuación pasar la información a un programa de software para crear diseños de nivelación como Optisurface. Una vez creado el diseño, se pasa la información al tractor con el implemento de niveladora y se mete la información en el Field Level II. Una vez realizados estos pasos, el operador debe de seleccionar la opción de “auto” y lo único que debe de hacer es pasar por las zonas de terreno donde se cortará la tierra e ir a dejar a las zona de relleno. Estas parecen representadas en la pantalla FMX en un mapa con distintos colores. La cuchilla bajará y subirá de forma automática gracias al diseñado de nivelación creado por Optisurface así que el operador no tiene que interferir con le implemento para garantizar la exactitud del sistema (López, 2015).

Gracias a una mejor distribución y drenaje del agua así como una mejor utilización de los nutrientes, la nivelación mediante RTK debido a su exactitud puede llegar a aumentar la productividad de los campos entre un 25 a 35% frente a un campo no nivelado. Además ayuda a reducir los costes de riego entre un 30 y un 50% (siempre y cuando el riego se haga por gravedad). También está probado que reduce en un 10% el uso de los herbicidas y fertilizantes (John Deere, 2008).

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD DE LA INSTITUCIÓN ANFITRIONA**

La práctica profesional se realizó en Santander Farms Limited, una de las dos empresas perteneciente a Santander Group siendo la otra Santander Sugar. Santander Farms se encarga de llevar toda la parte agrícola de la empresa mientras que Santander Sugar se encarga de toda la parte industrial. Ambas empresas responden de forma individual a la empresa madre, Santander Group (López, 2015).

### **Santander Farms**

Santander Farms es una empresa agrícola productora de caña de azúcar bastante nueva, la cual empezó sus actividades en el año 2011. La empresa empezó desde cero ya que en la zona no había nada sembrado y toda el área estaba cubierta por bosque secundario y matorrales cuando inicio. En la región no existía ningún cultivo de caña ni tradición cañera alguna siendo la zona cañera más cercana la del ingenio azucarero de BSI ubicado a más de 160 kilómetros del proyecto. Santander Farms cuenta con alrededor de 10 mil hectáreas de terreno de las cuales se han sembrado hasta el día de hoy unas 3,300 ha, el resto se encuentran aún en proceso de siembra. De esas 10 mil hectáreas se proyecta tener sembradas 7,000 ha para el fin del año 2016. La empresa cuenta con tres fincas La Luz, La Gloria y Liébana las cuales están ubicadas en el Distrito de Cayo, Belice. En la finca La Luz se encuentra el ingenio azucarero el cual se encuentra a 22 kilómetros de la capital del país, Belmopán y a 19 kilómetros de la Western Highway (Una de las principales carreteras del país). Todas las fincas (los puntos más distantes de estas) se encuentran en un radio de no más de 14 kilómetros desde el ingenio (López, 2015).

Las fincas de Santander Farms se distribuyen de la siguiente forma:

Cuadro 1. Distribución de las fincas propiedad de Santander Farms (Segura, 2015).

| Área                    | Finca La Luz (ha) | Finca La Gloria (ha) | Finca Liébana (ha) | Área total | %     |
|-------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|------------|-------|
| Total                   | 5755              | 3740                 | 1487.5             | 10982.5    | 100   |
| Área de reserva privada | 655               | 476                  | 441                | 1572       | 14.31 |
| Calles, canales y otros | 271               | 102                  | 84                 | 457        | 4.16  |
| Área neta               | 3903              | 2579                 | 963                | 7723       | 70.32 |

### **Santander Sugar**

Santander Sugar es la parte de Santander Group que se encargará de toda la parte industrial. Su mayor responsabilidad es la actual construcción del ingenio azucarero la cual concluirá en diciembre de 2015. En el año 2016 se llevará a cabo la primera zafra de la empresa y en consecuencia iniciará la producción de azúcar, melaza y energía eléctrica. Se espera que la primera zafra inicie en febrero del 2016 coincidiendo así con el inicio de la época seca. La producción de azúcar será comercializada en forma de azúcar cruda y no se prevé la construcción de una refinería. El azúcar será exportada en su totalidad a Europa y no quedará nada en el mercado nacional. El ingenio azucarero tendrá una capacidad de molienda de 6 mil toneladas diarias y tiene previsto aumentar su capacidad de molienda hasta las 12 mil toneladas para el año 2020 (López, 2015).

### **Tecnología**

Santander Farms es una empresa vanguardista en cuanto a la implementación de tecnología en la industria cañera a nivel mundial ya que es una empresa que cuenta con nivelación y levantamientos topográficos mediante RTK, sistemas de autopilot (con error

de no más de 3 centímetros en las pasadas) para sus tractores en un gran número de actividades como lo es rastra pesada, rastra liviana, surqueo, cajueleado, siembra y tapado. Actualmente se están implementando avanzados sistemas de riego como lo son los sistemas de riego por avances los cuales son sumamente eficientes en el uso del agua. Además cuenta con mapas de ArcGis online los cuales son actualizados semanalmente y exponen los avances en las distintas áreas tratadas por la empresa. La empresa también cuenta con mapas georeferenciados los cuales pueden ser instalados en cualquier teléfono inteligente o Tablet con acceso a internet. El rubro tecnológico es uno de los más importantes para ésta empresa y una de las partes en donde más invierte (López, 2015).

### **Visión empresarial**

La visión empresarial planteada por Santander Group es ser una empresa de la agroindustria del sector azucarero de constante crecimiento y expansión con un modelo de negocios eficiente, íntegro e innovador en cuanto a tecnología agrícola e industrial con el objetivo de crear beneficios para trabajadores, colaboradores, clientes, accionistas y comunidades cercanas (Hernández, 2015).

#### **2.2.1 Finca La Gloria**

La finca La Gloria es el lugar donde se llevó a cabo la Sistematización de la Práctica Profesional debido a la necesidad en nivelar uno de los campos de la finca. La finca se encuentra ubicada a 8 kilómetros de ingenio azucarero y a 30 kilómetros del centro de Belmopán, en el distrito de Cayo. Para llegar desde el centro de Belmopán se debe de tomar la carretera de Western Highway en dirección Oeste (Hacia San Ignacio) durante 3 kilómetros hasta llegar a Westar. Desde ahí se debe de ingresar en un camino de terracería en dirección al pueblo de Valle de Paz y luego continuando por la carretera privada de Banana Bank. Se deben de recorrer 27 kilómetros de camino de terracería para poder llegar a la finca. En la siguiente figura se muestra más a detalle la ubicación exacta de la finca (López, 2015).

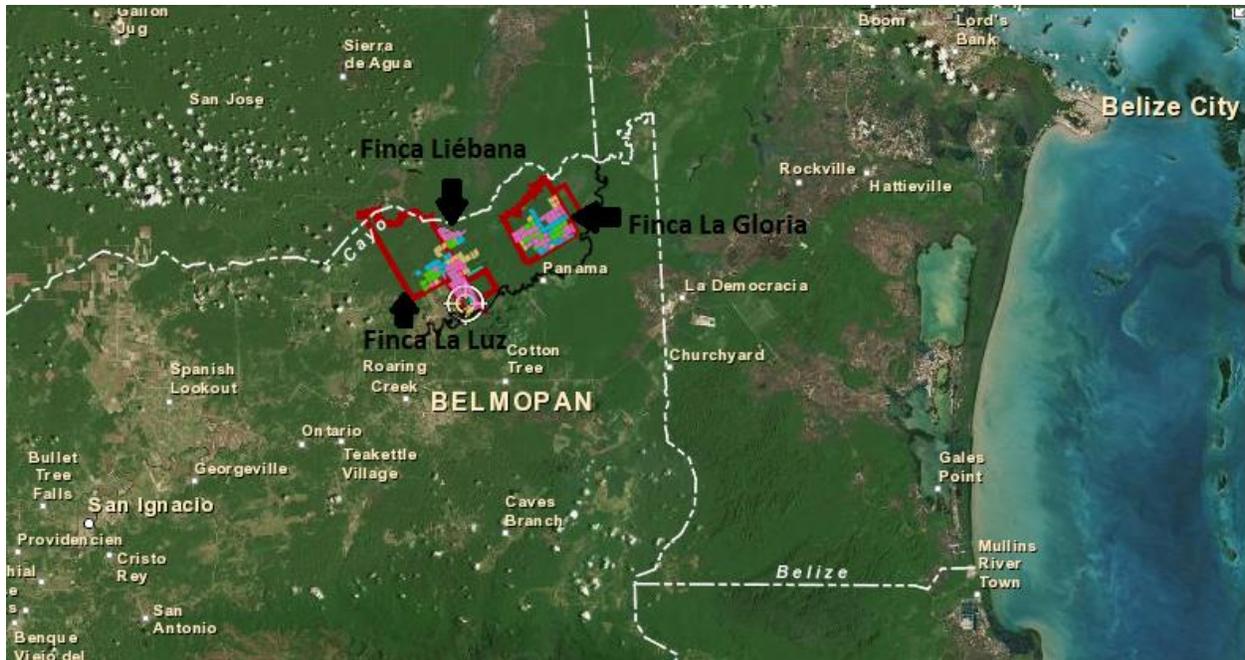


Figura 1. Imagen de la ubicación general del proyecto (Segura, 2015).

La finca La Gloria es la que se ubica más al este y ésta se encuentra ubicada a una altitud de entre los 16 y 50 metros de altitud. Sus coordenadas son  $17^{\circ}24'23.88''N$  y  $88^{\circ}41'58.76''W$ . Al sur colinda con la propiedad de Castile, una finca propiedad de menonitas los cuales se dedican al cultivo de arroz y frijol. Al oeste se encuentra la finca de King Salomon la cual aún no cuenta con ningún tipo de explotación o actividad agrícola. En la parte norte se encuentra el Freshwater Creek el cual es un río que forma diversas lagunas a lo largo de su recorrido. Finalmente la finca colinda en la parte este con una la reserva natural de El Corredor del Jaguar la cual es propiedad del estado. El campo elegido para realizar la Sistematización de Práctica Profesional es el campo número 17 ubicado en el extremo noroeste de la finca y colindando por toda la parte norte con la reserva privada de la finca. El campo cuenta con un área de 32.4 hectáreas y su ubicación dentro de la finca La Gloria se detalla en el siguiente mapa (López, 2015).



Figura 2. Lugar donde se llevará a cabo la sistematización de práctica profesional (Segura, 2015).

## 2.2.2 Organigrama de la empresa Santander Farms

La empresa de Santander Farms cuenta con tres departamentos: Departamento de Ingeniería Agrícola, Departamento de Producción, y el Departamento de Administración. Los tres departamentos responden a la Gerencia Agrícola quien se encarga de realizar las gestiones y decisiones más importantes dentro de la empresa. Cada gerente de cada departamento cuenta con varios supervisores quienes se encargan de administrar directamente al personal operativo.

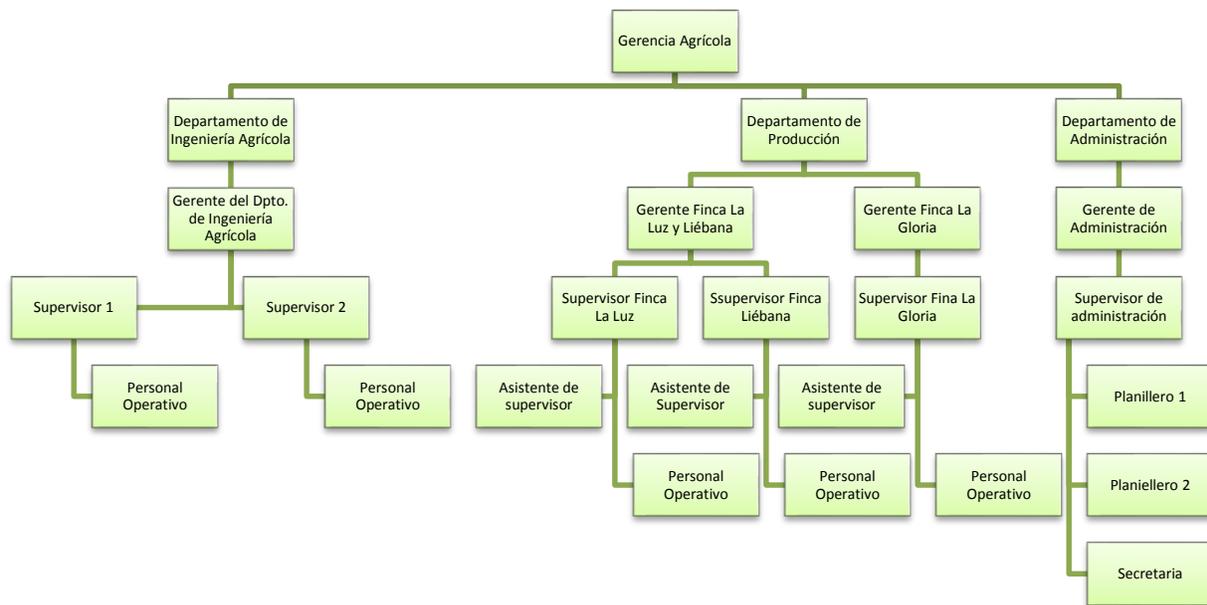


Figura 3. Organigrama de la empresa Santander Farms (Ruiz, 2015).

## **3. CONTEXTO DE LA PRÁCTICA**

### **3.1 EJE DE SISTEMATIZACIÓN**

En el período en el cual se realizó la sistematización de práctica profesional se proporcionó asistencia y apoyo al Departamento de Ingeniería Agrícola de Santander Farms para establecer la metodología y la eficacia de la nivelación de terrenos a través del sistema de RTK. El informe de práctica da a conocer como se debe de realizar la nivelación de un campo y los pasos a seguir así como generar mapas y medios visuales que reflejen los resultados de nivelación en cuanto a pendiente, corte y relleno y topografía antes y después de la nivelación.

### **3.2 NECESIDAD EMPRESARIAL**

La nivelación mediante RTK mejora la producción y rendimientos de producción de la caña de azúcar. La nivelación mediante RTK ayudará a darle una mejor imagen a la empresa ya que es una tecnología bastante nueva y poco conocida en la agricultura a nivel centroamericano. Además, los bancos y las entidades financieras al ver la innovación de la empresa así como la alta tecnología utilizada se verán motivados a seguir invirtiendo y otorgando créditos que son un aspecto clave para poder seguir financiando el proyecto. También la utilización del RTK puede llevar a obtener productos tecnológicos diferentes gracias a la relación establecida con la principal empresa proveedora de productos tecnológicos (TRIMBLE). Además, ante la necesidad de la extensiva nivelación que deben de realizar los agricultores locales y la gente de la región, se abren las puertas a la empresa a expandir sus relaciones con gente local y agricultores de la región para darles asesorías y capacitaciones de como nivelar mediante este avanzado sistema. Esto podría permitir a estos agricultores nivelar terrenos según las necesidades de la caña de azúcar lo cual podría suplir con caña adicional al ingenio azucarero aumentando así la cantidad de caña que el ingenio podría llegar a recibir para la molienda lo cual se traduce en beneficios económicos bastante importantes tanto para Santander Group como para los agricultores.

Además, el traer tecnología de vanguardia al país de Belice mejoraría la imagen de la empresa a nivel nacional así como la imagen de la empresa ante las autoridades del país.

### **3.3 JUSTIFICACIÓN**

Las tres fincas del Grupo Santander están ubicadas en una zona donde los suelos arcillosos son muy abundantes. La finca La Gloria no es ninguna excepción a este caso siendo prácticamente el tipo de suelo en su totalidad arcillosos contando con pequeñas zonas de suelos arcillo-arenoso y arcillo-limoso. Debido a esto, la tasa de infiltración del agua es muy baja lo cual provoca vastas zonas de anegamiento y encharcamientos que imposibilitan el desarrollo de la caña de azúcar. Además, la zona cuenta con un relieve peculiar donde hay abundancia de pequeños montículos y terreno irregular ya que se trata de tierras vírgenes lo que imposibilita al agua correr de una forma natural provocando su estancamiento.

Debido a que sin la nivelación es imposible establecer un cultivo de caña de azúcar que sea rentable es necesario nivelar los terrenos de una forma que sea exacta, eficiente, rápida y fácil de aprender para los operadores que realicen la nivelación con los tractores. La empresa anteriormente realizaba nivelación mediante el método de laser pero dado a que este método fuerza las pendientes en dos direcciones (pendiente principal y secundaria) los movimientos de tierra eran demasiado elevados (entorno a los 1000 metros cúbicos por hectárea) lo que resultaba costoso económicamente y requería de mucho tiempo. Con la nivelación mediante RTK la nivelación se adapta a los principales accidentes topográficos del terreno, no forzando la pendiente en las direcciones deseadas sino más bien adaptándose a la naturaleza del terreno. De esta forma se logran movimientos de tierra mucho menores, de 200 a 400 metros cúbicos por hectárea. Considerando que el costo de mover cada metro cúbico es de 0.70 centavos de dólar para la empresa (esto incluye todos los gastos desde combustible, operador, costo de la máquina y equipos hasta repuestos) el mover 600 metros cúbicos menos por hectárea representa un ahorro de 420 dólares por hectárea. Cabe mencionar que un terreno nivelado mediante RTK puede llegar a aumentar la producción entre un 25 a 35% frente a un campo no nivelado.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 GENERAL**

Participar en actividades de nivelación de terrenos mediante el sistema de Real Time Kinematic.

### **4.2 ESPECÍFICOS**

- Establecer los pasos y la metodología para realizar una nivelación mediante el RTK.
- Determinar la pendiente así como la orientación más idónea en el terreno a nivelar.
- Determinar el movimiento de tierra (corte y relleno) a realizar en metros cúbicos por hectárea.
- Generar mapas de corte y relleno así como de la topografía de la zona antes y después de la nivelación.

## 5. PLAN DE TRABAJO

### 5.1 PROGRAMA DESARROLLADO

Durante la sistematización de práctica profesional se brindó apoyo al Departamento de Ingeniería Agrícola de la empresa agrícola azucarera de Santander Farms para establecer la metodología de la nivelación a través del sistema de RTK. También se obtuvieron mapas topográficos y datos de pendiente para determinar qué tan efectivo es el sistema.

- Departamento de ingeniería agrícola: Se trabajó en este departamento durante los seis meses que duró la práctica asistiendo y apoyando principalmente todas las actividades de drenajes y nivelación de terrenos de la Finca La Gloria. Durante este tiempo se permaneció en Belmopán para estar siempre en cercanía del proyecto.
- Recolección de información: La información se recopiló con una memoria USB desde las pantallas FMX Trimble de los tractores y fue trasladada a la computadora para su posterior análisis y para realizar los diseños de nivelación.
- Ejecución de la nivelación: Una vez creados los diseños del campo se procedió a ingresar la información en los tractores de nivelación. Una vez llevado a cabo esto, se procedió con la nivelación.
- Recopilación de resultados: Se realizó un levantamiento topográfico con un tractor donde se obtuvieron los datos de cómo quedó el campo después de la nivelación.

#### 5.1.1 Otras actividades:

- Capacitaciones: Se capacitó a los tractoristas en cómo utilizar las pantallas de FMX para realizar levantamientos topográficos así como para realizar nivelación a través del sistema de RTK.
- Drenajes: Se asistió en la construcción de canales de drenaje mediante levantamientos topográficos creando perfiles y después realizando los respectivos diseños de canales y ejecutándolos con excavadora utilizando el sistema de láser.

## 5.2 INDICADORES DE RESULTADO

A partir del trabajo realizado durante la sistematización de práctica profesional se obtuvieron resultados en cuanto a los objetivos establecidos. Aun así se elaboraron ciertos indicadores de resultado que permitieron generar algunos parámetros para la medición de los resultados, entre ellos se encuentra:

- Mapas topográficos realizados con el sistema TRIMBLE RTK y obtenidos mediante la pantalla FMX.
- Mapas generados por el software Optisurface de corte y relleno así como el factor de corte y relleno promedio en metros cúbicos por hectárea del campo que se niveló.
- Pendiente existente en el terreno antes de la nivelación y pendiente dada al campo después de la nivelación.
- Orientación de la pendiente en base al diseño creado por el programa de Optisurface.

### 5.3 CRONOGRAMA

El período de prácticas se realizó desde la tercera semana de septiembre hasta la tercera semana de marzo haciendo así un total de 6 meses. El cronograma de actividades que se llevó a cabo se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Cronograma de actividades a realizar durante la práctica profesional (Elaboración propia).

|  | Sep--15 |    |    |    | Oct--15 |    |    |    | Nov--15 |    |    |    | Dic--15 |    |    |    | Ene--16 |    |    |    | Feb--16 |    |    |    | 16-Mar |    |    |    |
|--|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|---------|----|----|----|--------|----|----|----|
| Actividades  | S1      | S2 | S3 | S4 | S1     | S2 | S3 | S4 |
| Inicio de prácticas en Santander Farms             |         |    | ■  | ■  |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Proceso de inducción y capacitación                |         |    | ■  | ■  |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Elaboración de un plan de trabajo                  |         |    | ■  | ■  |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Levantamiento topográfico                          |         |    |    | ■  |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Diseño de nivelación en software                   |         |    |    | ■  |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Ejecución de nivelación                            |         |    |    | ■  |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Levantamiento topográfico después de la nivelación |         |    |    |    | ■       |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Generación de mapas                                |         |    |    |    |         | ■  | ■  |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Evaluación de anegamiento durante época lluviosa   |         |    |    |    |         | ■  | ■  | ■  | ■       | ■  | ■  | ■  | ■       | ■  | ■  | ■  | ■       | ■  | ■  | ■  |         |    |    |    |        |    |    |    |
| Asistencia en otras actividades                    |         |    |    |    |         | ■  | ■  | ■  | ■       | ■  | ■  | ■  | ■       | ■  | ■  | ■  | ■       | ■  | ■  | ■  | ■       | ■  | ■  | ■  |        |    |    |    |
| Finalización de la Práctica Profesional            |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    | ■      |    |    |    |
| Entrega de informe final                           |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |         |    |    |    |        | ■  | ■  | ■  |

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La sistematización de práctica profesional abarcó en total un período de 6 meses iniciando en el mes de septiembre del 2015 y finalizando en el mes de marzo del 2016. Durante las prácticas se tuvo la oportunidad de participar en un gran número de actividades relacionadas con la producción de la caña de azúcar. A pesar de haber participado en varias actividades, claramente la mayor colaboración y el mayor aporte se realizó en la participación en actividades de nivelación mediante el sistema de Real Time Kinematic (RTK).

### **6.1 METODOLOGÍA PARA REALIZAR UNA NIVELACIÓN MEDIANTE RTK**

La metodología para poder realizar la nivelación a través de Real Time Kinematic (RTK) es bastante compleja ya que se deben de seguir un gran número de pasos de forma estricta para obtener datos confiables y certeros. Además debe de mencionarse que el equipo es bastante costoso tanto a nivel de hardware y software pero sobre todo a nivel de maquinaria. Lo primero que se hizo fue familiarizarse al cien por ciento con el equipo de hardware y software así como con la maquinaria que se iba a utilizar durante la nivelación. Una vez se realizaron las pruebas con el equipo en diversos campos se determinó la metodología la cual es la siguiente.

1. Montar la estación base en una ubicación fija e inmóvil cuya ubicación con coordenadas y altura exacta sean conocidas. A continuación se procederá a configurar el Radio de la estación con esta información y se configurará el radio con una frecuencia.
2. Determinar la altura exacta donde se encuentra el Receptor GPS del tractor. Configurar la computadora y el software del WM Survey del tractor introduciendo esta altura. A continuación configurar la frecuencia utilizada en la computadora del tractor para que sea la misma que la utilizada por el Radio de la estación base para poder permitir la comunicación entre la antena GPS del tractor y la estación.

3. Verificar que la señal de GPS sea la óptima y que la computadora del tractor se encuentra en calidad de la señal: Fijo. Si esto no es así se deberá a que no hay suficientes satélites, una mala conexión entre cables, una mala configuración de lo mencionado en los puntos 1 y 2 o que algún componente está dañado. La señal en calidad de FIJO garantiza la exactitud del sistema RTK ya que fuera de ésta calidad de señal la corrección del error en posición y en especial en altura es bastante inexacta y por lo tanto los datos no serán confiables.
4. De primero se debe de tomar la topografía del campo a nivelar. Para esto se debe de configurar el WM Survey para determinar la densidad de puntos (distancia entre lecturas tomadas y guardadas por el tractor las cuales incluyen la altura y coordenadas del punto).
5. Mover el tractor a la estación base sin la niveladora y con el Receptor GPS montado en el techo del tractor (siempre se debe de poner el tractor exactamente en el mismo sitio de la estación base, preferiblemente en una plancha de concreto para que la altura no se vea modificada).
6. En el WM Survey tomar el punto maestro (al cual se amarran todos los datos que se tomarán en el campo). Este punto tendrá siempre la misma altura y las mismas coordenadas.
7. Ir al campo que se desea nivelar y colocarse en una de las esquinas. Se debe de empezar a recorrer todo el campo (seleccionar el botón de grabar en la pantalla en este momento para empezar a obtener la topografía) tratando que la rodada exterior vaya justo encima de la rodada anterior. A mayor distancia entre las pasadas se generarán menos puntos y por lo tanto menos información para generar el mapa topográfico en el futuro lo cual podría generar un mapa con más error.
8. Una vez levantado todo el campo se debe de seleccionar el botón de “GRABAR” nuevamente para detener la grabación. A continuación se puede retirar el tractor del campo.
9. Salirse del programa WM Survey y descargar la información en una memoria USB.
10. Llevar la información a la PC y descargarla con la memoria.

11. Abrir el archivo con el programa OptiSurface. A continuación se generará un mapa topográfico del campo levantado con sus distintas cotas y con el área exacta.
12. Determinar el sentido de la pendiente así como el porcentaje de pendiente principal y pendiente secundaria que se desea. Crear varias sub-zonas con distintas pendientes o sentidos de pendiente en caso de que el campo lo requiera.
13. Generar el mapa de diseño de nivelación del campo donde además se obtendrá información del movimiento en metros cúbicos por hectárea y factor de corte y relleno. El software Optisurface utiliza créditos (disponibles a la venta) por cada hectárea que se desea nivelar.
14. Si el movimiento de tierra es coherente y está dentro del margen deseado, proceder a grabar el diseño de nivelación en una memoria USB. De no ser así, se debe de generar otro mapa de diseño con otros parámetros (diferentes pendientes, sub-zonas, etc.).
15. Enganchar la niveladora al tractor con su mástil conectando todos los cables y moviendo el Receptor GPS del techo del tractor al mástil.
16. Descargar la información de la memoria USB en la computadora del tractor. Abrir el software de Fiel Level II y abrir el archivo del mapa de diseño de nivelación.
17. Verificar que la señal sea la óptima (calidad de señal en FIJO) y proceder con la nivelación.
18. Nivelar la cuchilla de la niveladora en una zona verde (las zonas verdes son zonas que ya tienen el nivel correcto) para obtener la altura de cuchilla necesaria. La cuchilla debe de quedar al ras del suelo.
19. El operador deberá de ir a las zonas indicadas como corte a cortar tierra (seleccionar el modo automático para que la niveladora corte por sí sola hasta la altura generada por el mapa de diseño de nivelación) y una vez que llena la niveladora, debe de transportar la tierra hasta una zona de relleno para descargarla.
20. Cuando el campo está casi nivelado por completo, se debe de nivelar a favor del sentido de la pendiente principal para en el futuro favorecer al surqueo.

21. Cuando seleccionando el modo Automático la cuchilla ya no logra cortar nada en todos los puntos donde el corte era necesario se puede considerar que el campo está nivelado.

## 6.2 PENDIENTE Y ORIENTACIÓN DEL TERRENO A NIVELAR

Una vez realizado el levantamiento topográfico del Campo 17 de la finca La Gloria se pudo determinar que éste tenía un área de 32.4 ha. Después se llevó la información a la computadora para generar el mapa topográfico en el programa de OptiSurface el cual se muestra a continuación.

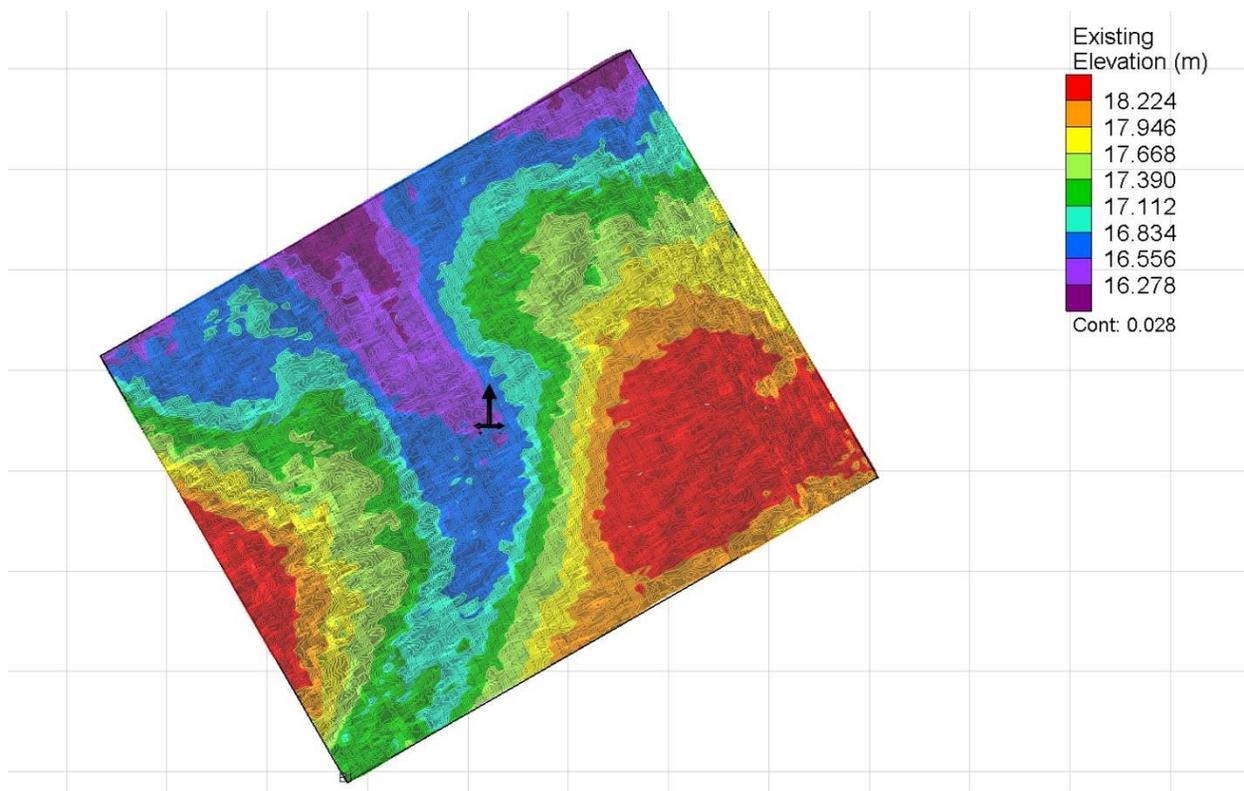


Figura 4. Topografía obtenida a través del levantamiento del Campo 17.

Como se puede observar en la figura 4, el campo cuenta con una elevación de entre 16 y 18.5 metros de altitud. El campo tiene una zona alta en la parte sureste y otra zona alta en la parte centro-oeste. Las zonas bajas se encuentran en el límite norte y en la zona centro haciendo una curva en dirección suroeste. La diferencia de alturas es considerable entre las partes altas y bajas del campo lo cual permitirá nivelar con un buen porcentaje de pendiente mejorando el drenaje. En este campo fue necesaria la creación de varias

sub-zonas con diferentes orientaciones de pendiente debido a que la zona baja se encuentra en el centro y hay dos zonas altas a los lados. La creación de sub-zonas así como las distintas orientaciones permitirán adaptar el drenaje a la topografía natural del campo y de esta forma se reducirá el movimiento de tierra por hectárea (corte/relleno) ahorrando recursos económicos y reduciendo el tiempo de nivelación. Las sub-zonas que se diseñaron en el campo se muestran en la siguiente figura.

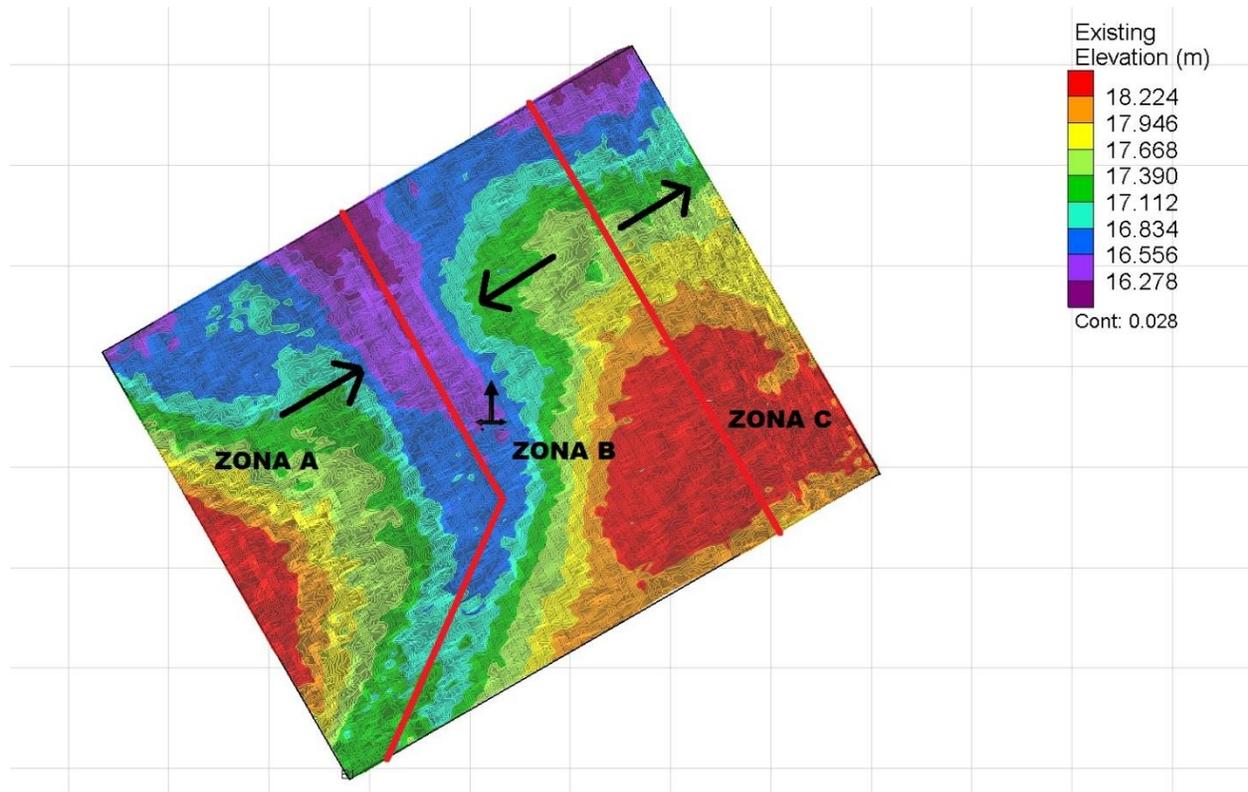


Figura 5. Sub zonas creadas a partir las orientaciones de pendiente naturales del terreno  
En la figura 5 se puede observar que el campo tuvo que ser dividido en 3 zonas. La ZONA A se diseñó con una pendiente donde el agua corre del oeste hacia el este, la ZONA B con una pendiente donde el agua corre del este al oeste y una ZONA C donde el agua corre del oeste al este. Entre la ZONA A y la ZONA B se hizo un canal ya que en esta zona baja se junta el agua que viene de ambas zonas.

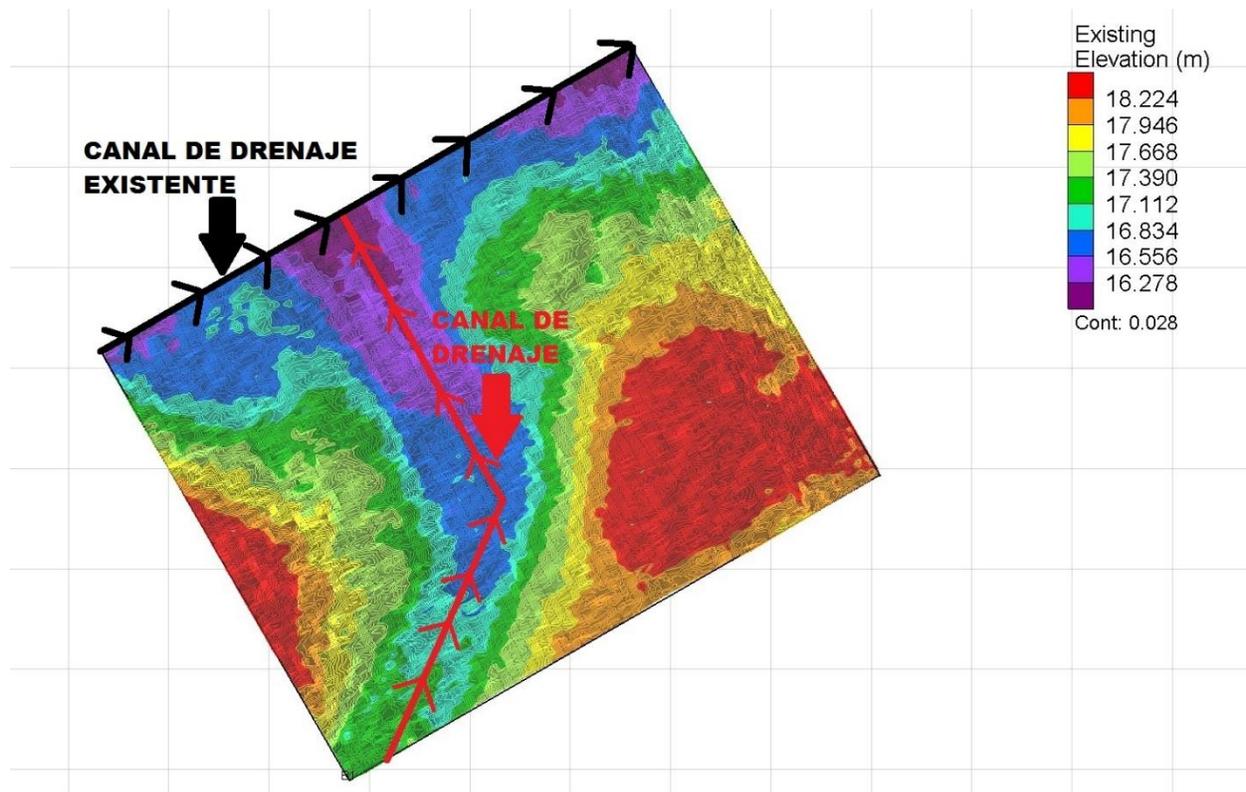


Figura 6. Canales de drenaje necesarios.

En la figura 6 se presenta el canal que se diseñó de tal forma que atravesara las zonas más bajas eliminando las curvas y con un diseño recto para armonizarlo más con el campo. No haber eliminado las curvas hubiera provocado un movimiento más lento del agua y hubiera entorpecido de forma considerable el drenaje del campo. Además, la eliminación de las curvas facilita bastante la mecanización ya que las máquinas deben de atravesar el canal para poder seguir con sus tareas en la otra zona del campo. Para permitir que las máquinas pudieran cruzar de una zona a otra (y así ahorrar tiempo y combustible) se hizo el canal lo más amplio posible con una relación de talud 7:1. El canal corre en dirección noreste haciendo un quiebre de aproximadamente 45° a partir del cual el canal corre hacia el noroeste. El canal desemboca en un canal secundario (Canal secundario S-4) el cual corre por el límite norte del campo (pendiente oeste-este).

## ZONA A:

Cuadro 3. Parámetros básicos de nivelación de la ZONA A obtenidos a través de OptiSurface.

| Resumen del diseño          |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| Área                        | 11.6 ha                |
| Volumen total del corte     | 3210 m <sup>3</sup>    |
| Volumen total del relleno   | 2700 m <sup>3</sup>    |
| Corte por hectárea          | 276 m <sup>3</sup> /ha |
| Relación corte/relleno      | 1.19                   |
| Corte máximo                | 33.9 cms               |
| Relleno máximo              | 32.1 cms               |
| Pendiente principal mínima  | 0.25%                  |
| Pendiente principal máxima  | 2.29%                  |
| Pendiente secundaria mínima | -3.11%                 |
| Pendiente secundaria máxima | 2.65%                  |

El cuadro 3 determina que la ZONA A cuenta con un área de 11.6 hectáreas. El volumen que se cortó fue de 3,210 m<sup>3</sup> y se rellenoó un volumen de 2,700 m<sup>3</sup> lo que se traduce en una relación de corte y relleno de 1.19. El movimiento de tierra que se llevó a cabo fue de 276 m<sup>3</sup>/ha llegándose a cortar como máximo 34 cms y rellenoándose como máximo 32 cms. La pendiente mínima dada fue de 0.25% dado que ésta se encuentra bastante por encima del rango mínimo aceptable establecido de 2 metros de desnivel por cada mil metros (equivalente a 0.20%). La ZONA A contaba ya contaba una pendiente pronunciada en algunos tramos cortos, superando la pendiente máxima del 1% en varios puntos (por encima de este valor se produce erosión). Debido a que los tramos donde existía esta pendiente elevada eran cortos y debido a que suavizar la pendiente aumentaba muchísimo los movimientos de tierra, se aceptó la pendiente máxima natural del terreno de 2.29 % a favor del surqueo. La pendiente secuendaria es aún más acusada, pero debido a que los surcos quedan perpendiculares a la pendiente secundaria y debido a que los surcos son elevados, estos sirven como barrera y como tope evitando así la erosión.

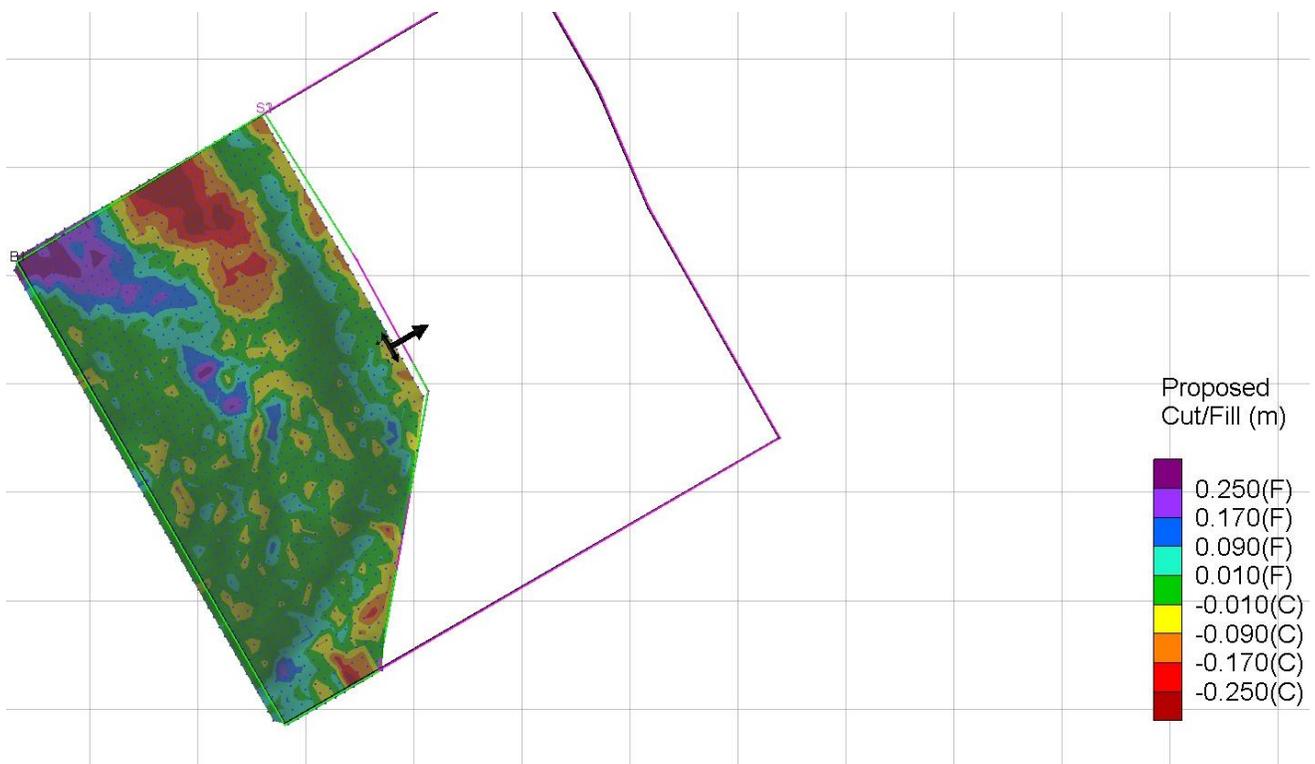


Figura 7. Mapa de corte y relleno para la ZONA A.

La figura 7 muestra las irregularidades que existían en el campo que tuvieron que ser eliminadas las cuales se encontraban dispersas por toda la zona. Estas irregularidades fueron cortadas con éxito y en poco tiempo dado a que no sobrepasaban los 9 cms de corte (zona amarilla). El campo contaba también con numerosos hoyos de pequeño tamaño los cuales fueron rellenos con la tierra obtenida de las pequeñas irregularidades, de esta forma, se eliminó la posibilidad de los équeños encharcamientos dentro del campo. En la parte norte de la ZONA A se tuvo que llevar a cabo un corte fuerte que ocupaba un área de tamaño considerable, el corte llegó a superar los 25 cms en muchas partes. Ésta fue la parte más difícil de nivelar y la que más tiempo tomó dado que se tuvieron que mover grandes volúmenes de tierra, afortunadamente justo al lado, en la esquina noroeste de la zona se encontraba un relleno bastante fuerte. Cabe mencionarse que este relleno fue algo complicado debido a que la zona baja a rellenar estaba muy húmeda y provocó que las máquinas se atascaran en numerosas ocasiones dado a que el hoyo era bastante profundo.

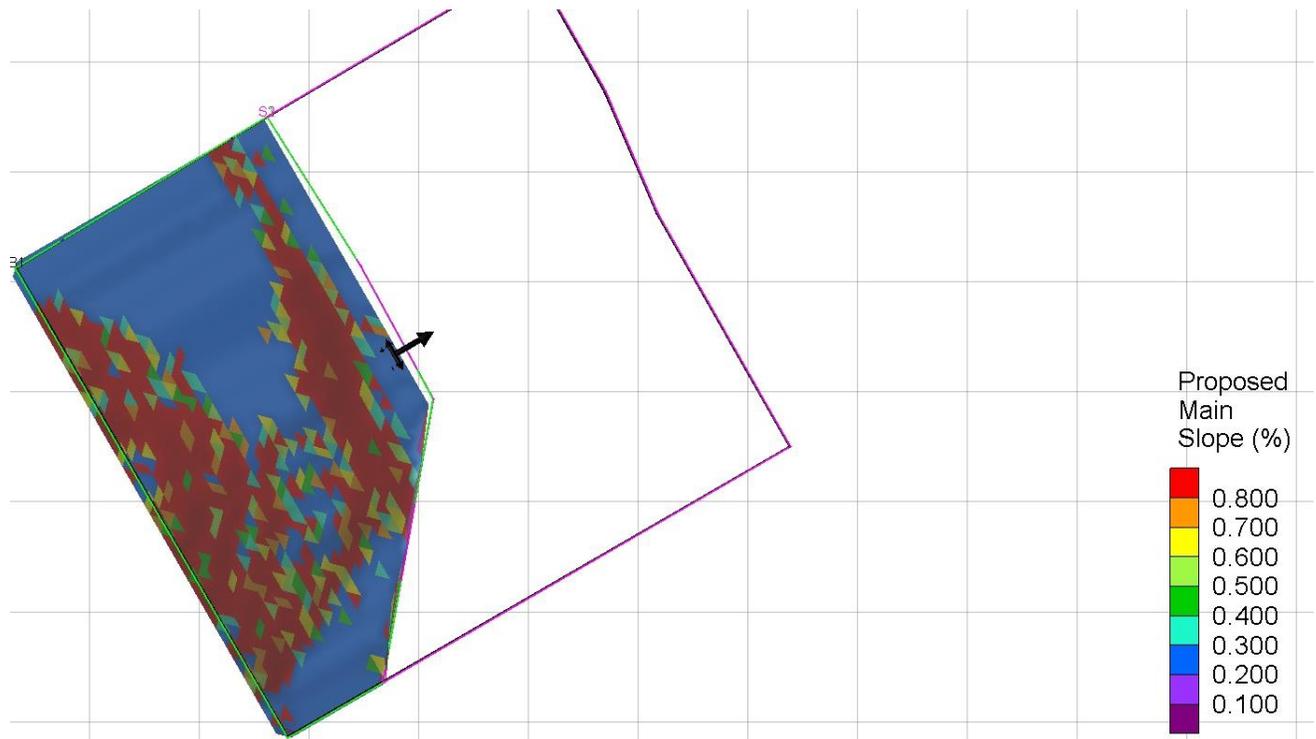


Figura 8. Mapa de las distintas pendientes de la ZONA A.

En la figura 8 se muestra como la pendiente fue variable a lo largo de la ZONA A debido a que ésta ya contaba con una pendiente considerable en numerosas zonas. Como se puede observar en una gran parte de la zona la pendiente supera el 0.8% aunque la pendiente se encuentra entre 0.2 y 0.3% en la mayor parte del campo.

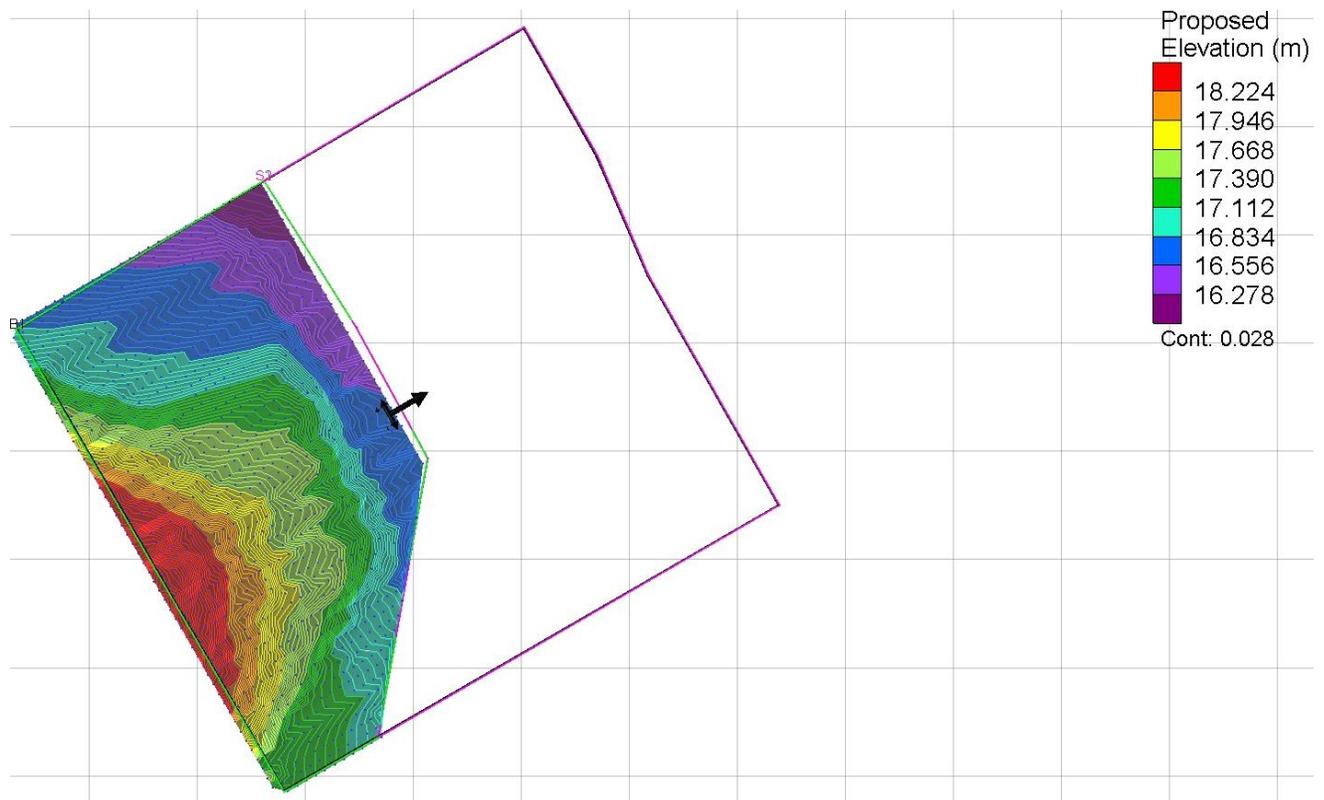


Figura 9. Resultado de nivelación en la ZONA A.

En la figura 9 se puede observar el resultado del campo nivelado. Mediante la nivelación se lograron eliminar las pequeñas irregularidades que había en el campo, las cuales eran abundantes y consistían principalmente en zonas bajas donde existía encharcamiento previo a la eliminación y en pequeños montículos. Se logró eliminar también la zona alta y la zona baja de la parte noroeste del campo las cuales fueron las áreas más complicadas y la parte que más tiempo tomó eliminar de toda la zona. Después de la nivelación el agua logró correr de forma eficiente en dirección oeste-este dentro del campo permitiendo así un mejor drenaje del mismo.

## ZONA B:

Cuadro 4. Parámetros básicos de nivelación de la ZONA B obtenidos a través de OptiSurface.

| Resumen del diseño          |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| Área                        | 14.6 ha                |
| Volumen total del corte     | 4460 m <sup>3</sup>    |
| Volumen total del relleno   | 3780 m <sup>3</sup>    |
| Corte por hectárea          | 307 m <sup>3</sup> /ha |
| Relación corte\relleno      | 1.18                   |
| Corte máximo                | 34.2 cms               |
| Relleno máximo              | 48.6 cms               |
| Pendiente principal mínima  | 0.20%                  |
| Pendiente principal máxima  | 3.38%                  |
| Pendiente secundaria mínima | -2.82%                 |
| Pendiente secundaria máxima | 2.08%                  |

El cuadro 4 muestra como la ZONA B cuenta con un área de 14.6 hectáreas convirtiéndola así en la zona más grande del campo 17. El volumen total que se cortó fue de 4,460 m<sup>3</sup> y se rellenoó un volumen de 3,780 m<sup>3</sup> lo que se traduce en una relación de corte y relleno de 1.18. El movimiento de tierra se elevó así hasta los 307 m<sup>3</sup>/ha llegándose a cortar como máximo 34 cms y rellenándose como máximo 49 cms. La pendiente mínima dada fue de 0.20% dado que ésta se encuentra justo dentro del rango aceptable establecido de 2 metros de desnivel por cada mil metros (equivalente a 0.20%). La ZONA B contaba ya contaba una pendiente pronunciada en algunos tramos cortos, superando la pendiente máxima del 1% en varios puntos. Debido a que los tramos donde existía esta pendiente elevada eran cortos y debido a que suavizar la pendiente aumentaba muchísimo los movimientos de tierra, se aceptó la pendiente máxima natural del terreno de 3.38 % a favor del surqueo.

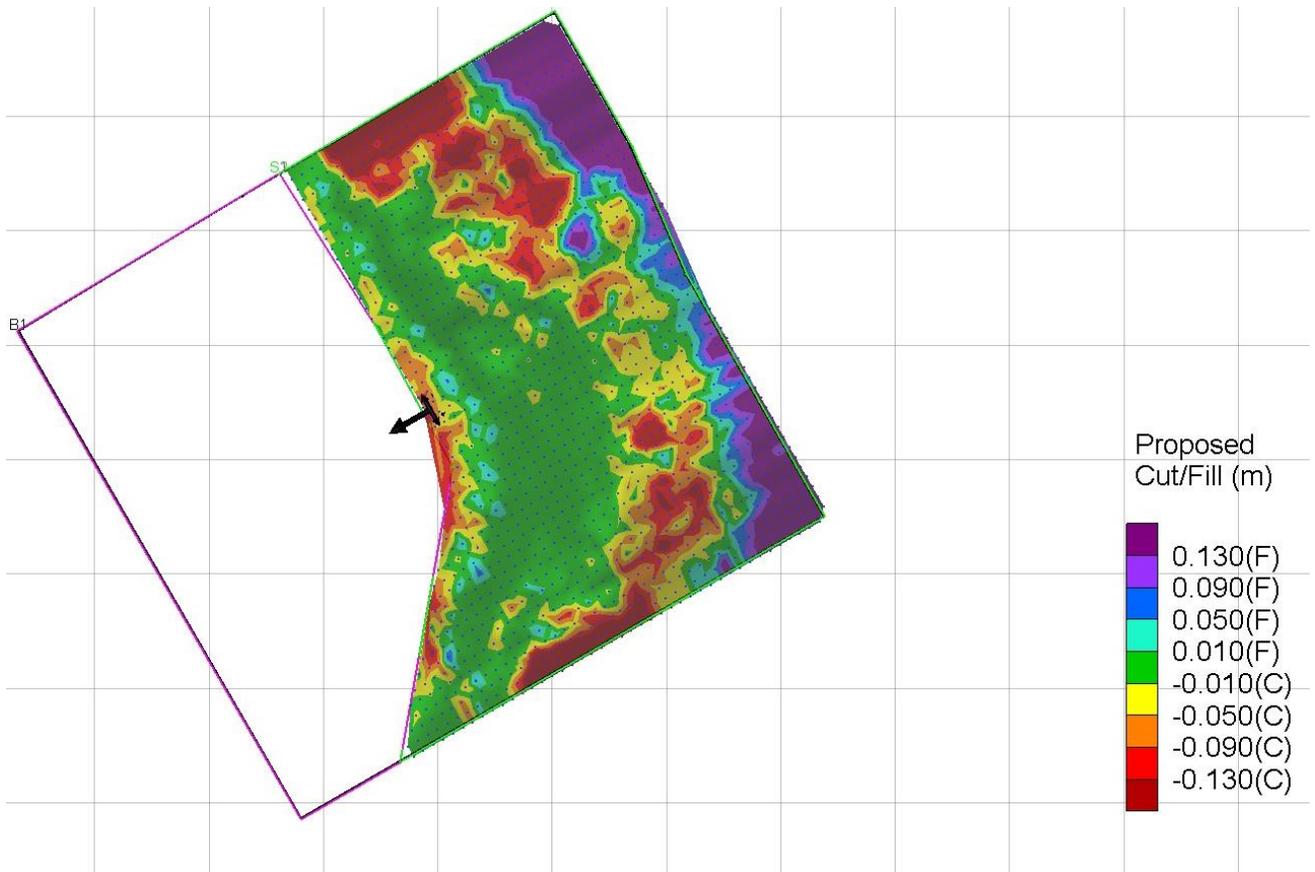


Figura 10. Mapa de corte y relleno para la ZONA B.

Como se puede ver en la figura 10, a diferencia de la ZONA A, la ZONA B no contaba casi con pequeñas irregularidades. En cambio, los cortes y rellenos eran bastante fuertes, en especial en la zona este y en el límite oeste al centro. La ZONA B tomó bastante más tiempo en nivelar que la ZONA A dado que los movimientos de tierra fueron bastante mayores. Además existía un gran bajío en todo el límite este que tenía demasiada humedad y provocó que las máquinas se atascaran en numerosas ocasiones dado a que el bajío era algo profundo pero sobre todo muy extenso.

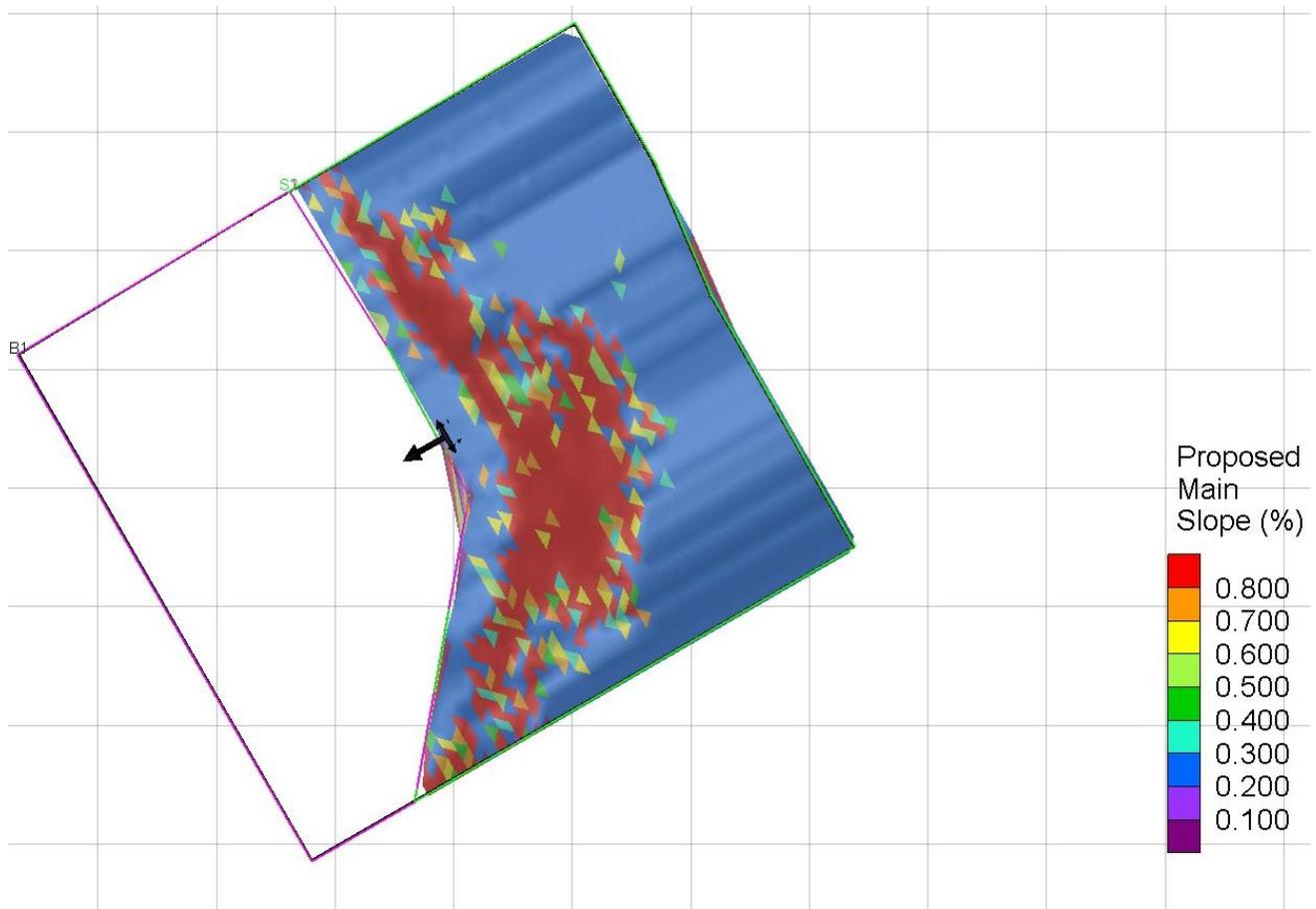


Figura 11. Mapa de las distintas pendientes existentes en la ZONA B.

Como muestra la figura 11, la pendiente fue variable a lo largo de la ZONA B debido a que ésta ya contaba con una pendiente considerable en numerosas zonas. Como se puede observar en una gran parte de la zona la pendiente supera el 0.8% aunque la pendiente de entre 0.2 y 0.3% es la más abundante en el campo.

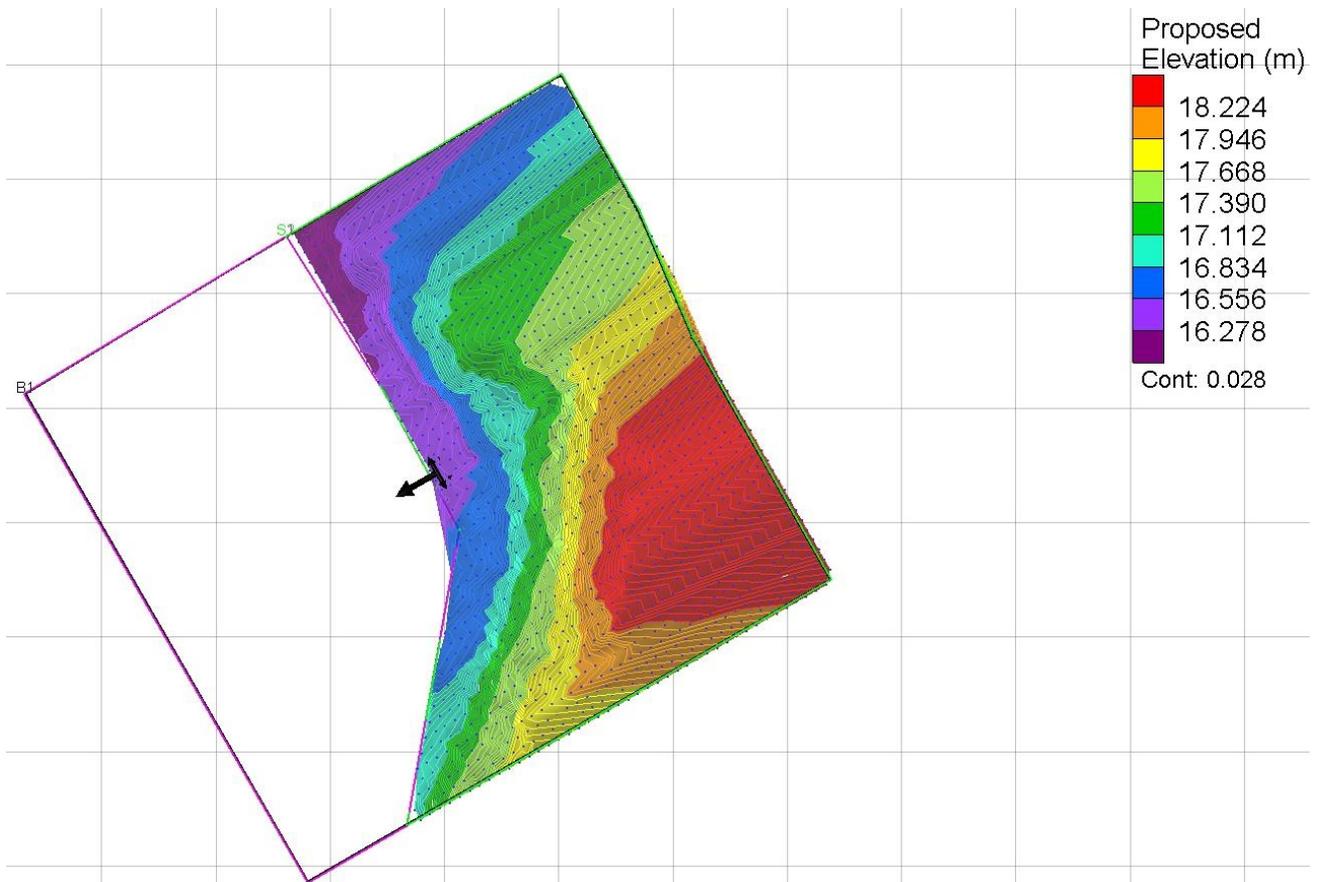


Figura 12. Mapa del resultado de la nivelación en la ZONA B.

La figura 12 muestra como mediante la nivelación se logró eliminar las irregularidades que había en el campo, las cuales eran abundantes y consistían principalmente en extensas zonas bajas profundas. Después de la nivelación el agua logró correr de forma eficiente en dirección este-oeste dentro del campo permitiendo así un mejor drenaje del mismo.

## ZONA C:

Cuadro 5. Parámetros básicos de nivelación de la ZONA C obtenidos a través de OptiSurface.

| Resumen del diseño          |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| Área                        | 6.2 ha                 |
| Volumen total del corte     | 1290 m <sup>3</sup>    |
| Volumen total del relleno   | 1080 m <sup>3</sup>    |
| Corte por hectárea          | 210 m <sup>3</sup> /ha |
| Relación corte\relleno      | 1.19                   |
| Corte máximo                | 32.7 cms               |
| Relleno máximo              | 23.8 cms               |
| Pendiente principal mínima  | 0.20%                  |
| Pendiente principal máxima  | 2.13%                  |
| Pendiente secundaria mínima | -1.41%                 |
| Pendiente secundaria máxima | 2.06%                  |

El cuadro 5 muestra que la ZONA C cuenta con un área de 6.2 hectáreas convirtiéndola así en la zona más pequeña del campo 17. El volumen total que se cortó fue de 1,290 m<sup>3</sup> y se rellenoó un volumen de 1,080 m<sup>3</sup> lo que se traduce en una relación de corte y relleno de 1.19. El movimiento de tierra disminuyó con respecto a las otras dos zonas hasta los 210 m<sup>3</sup>/ha llegándose a cortar como máximo 33 cms y rellenándose como máximo 24 cms. La pendiente mínima dada fue de 0.20% dado que ésta se encuentra justo dentro del rango aceptable establecido de 2 metros de desnivel por cada mil metros (equivalente a 0.20%). La ZONA C contaba ya contaba una pendiente pronunciada en algunos tramos cortos, superando la pendiente máxima del 1% en varios puntos. Debido a que los tramos donde existía esta pendiente elevada eran cortos y debido a que suavizar la pendiente aumentaba muchísimo los movimientos de tierra, se aceptó la pendiente máxima natural del terreno de 2.132 % a favor del surqueo.

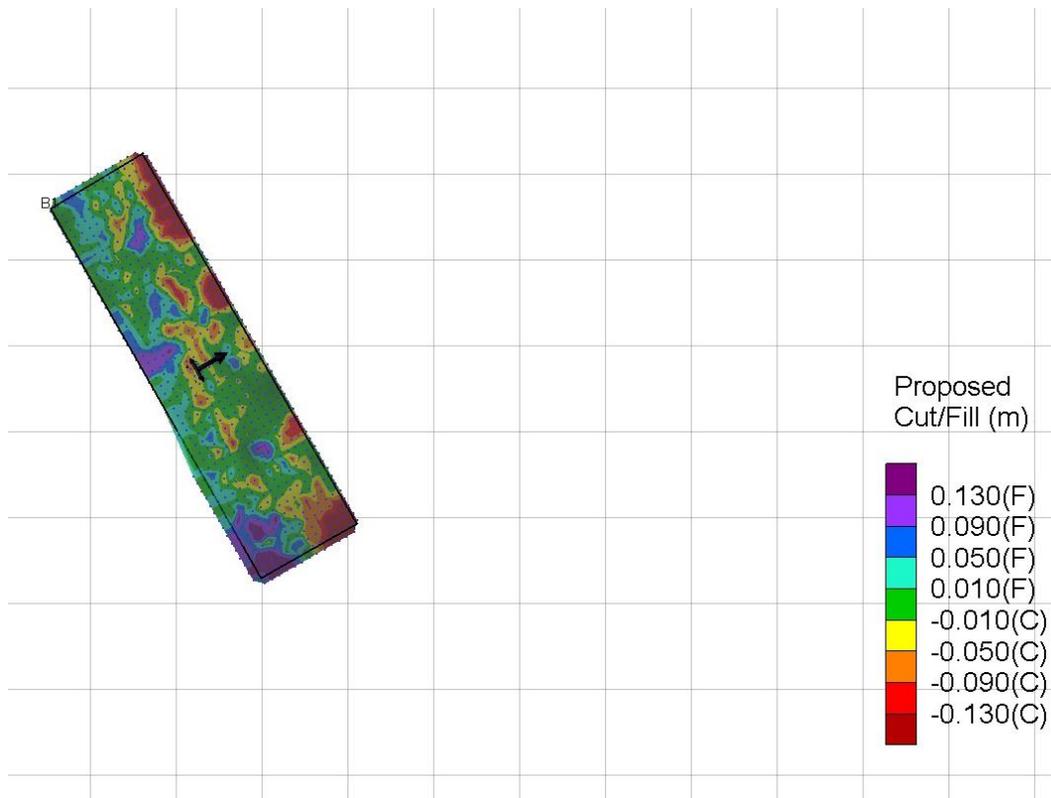


Figura 13. Mapa de corte y relleno para la ZONA C.

En la figura 13 se puede observar que la ZONA C se asemeja bastante a la ZONA A, ya que se encuentra salpicada de pequeñas áreas de corte y relleno. La ZONA C tomó poco tiempo ya que los movimientos de tierra fueron bastante menores y debido principalmente a que la zona contaba con poca área. Además, el terreno estaba algo más firme y uniforme lo que evitó que las máquinas se atascaran tanto en comparación con las zonas A y B.

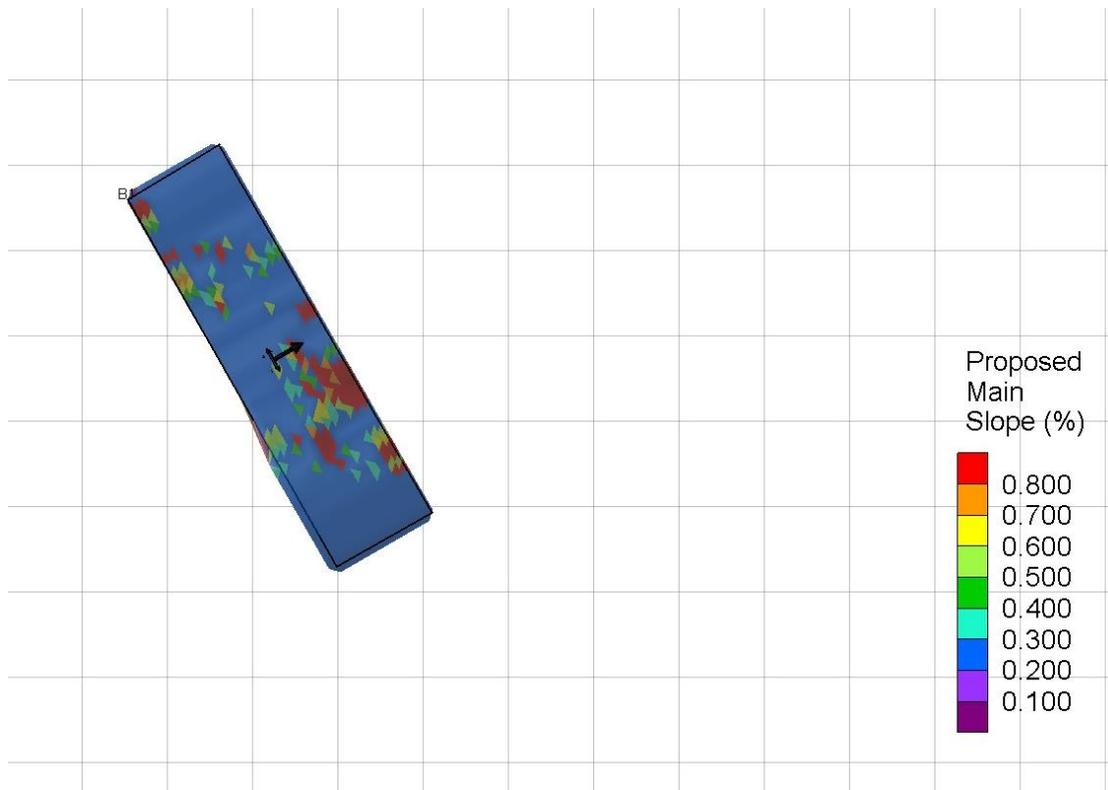


Figura 14. Mapa de las distintas pendientes existentes en la ZONA C.

En la figura 14 claramente se puede ver como la pendiente fue muy poco variable a lo largo de la ZONA C debido a que muy pocas partes de la zona contaban con una pendiente elevada previo a la nivelación. Únicamente en una parte muy pequeña de la zona la pendiente supera el 0.8% siendo la pendiente de entre 0.2 y 0.3% la predominante alrededor de toda la zona.

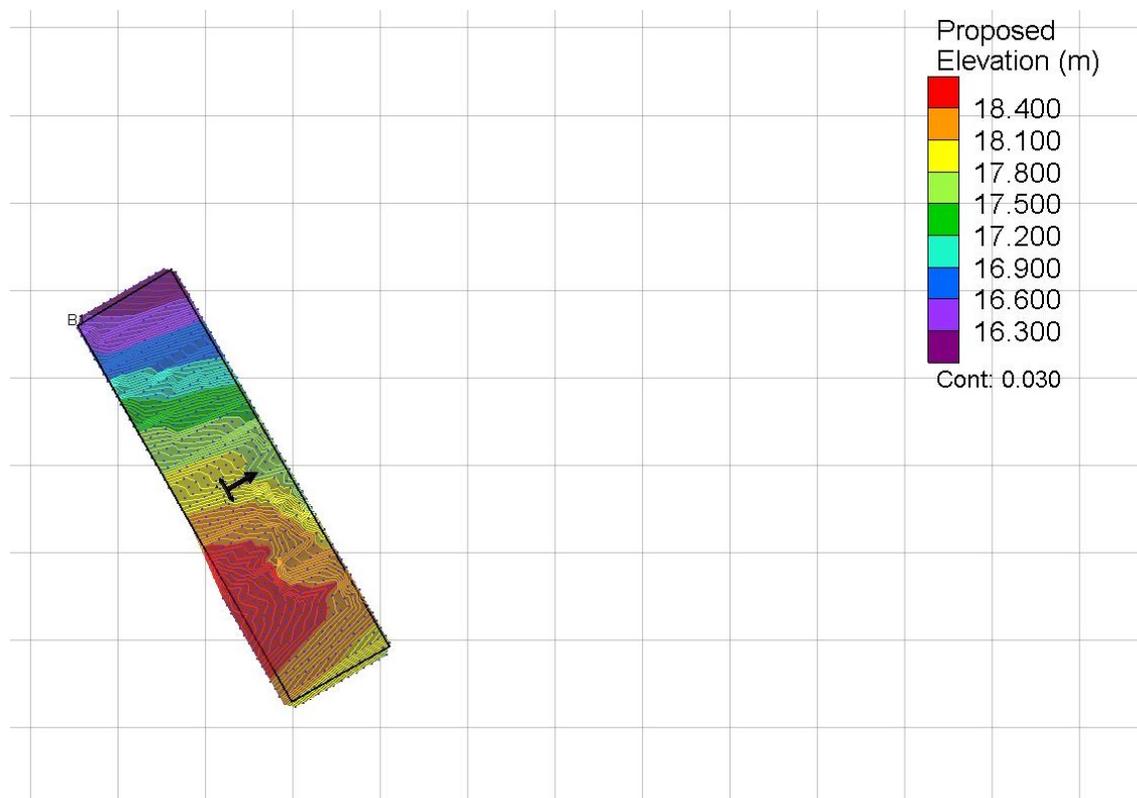


Figura 15. Mapa del resultado de la nivelación en la ZONA C.

En la figura 15 se muestra el resultado de la nivelación. Mediante la nivelación se logró eliminar las irregularidades que había en el campo, las cuales eran abundantes y consistían principalmente de pequeños montículos y pequeñas zonas bajas distribuidas alrededor del campo. Después de la nivelación el agua logró correr de forma eficiente en dirección oeste-este dentro del campo permitiendo así un mejor drenaje del mismo.

## 7. CONCLUSIONES

- Los pasos y la metodología para la nivelación mediante RTK son: montar y configurar la estación base y el WM Survey en el tractor para realizar el levantamiento topográfico. Llevar la información a la computadora para procesarla con el OptiSurface para crear un diseño para el campo y transferírselo a los tractores de nivelación para ejecutar el diseño con las máquinas.
- La pendiente y la orientación del campo nivelado fue: En la ZONA A una orientación oeste-este y una pendiente mínima de 0.25%. La ZONA B fue nivelada con una orientación este-oeste y con una pendiente mínima de 0.20%. La ZONA C se niveló con una orientación oeste-este y con una pendiente de 0.20%.
- El movimiento de tierra en la ZONA A fue de 276 metros cúbicos por hectárea, en la ZONA B fue de 307 metros cúbicos por hectárea y en la ZONA C fue de 210 metros cúbicos por hectárea. Dado que cada una de las zonas tenía un área diferente, en promedio se movieron 277 metros cúbicos por hectárea en el campo.

## 8. RECOMENDACIONES

- Es recomendable nivelar mediante el sistema de RTK cuando se desee establecer un cultivo de caña de azúcar en suelos muy arcillosos donde el índice de infiltración sea muy bajo y donde no exista una pendiente definida.
- Proyectos que deseen implementar riego por gravedad deben de considerar este sistema dado a que se puede introducir el agua por la parte alta del campo a partir de donde ésta correrá hasta la parte baja por gravedad.
- El sistema de RTK es una buena opción para reemplazar o sustituir el sistema de nivelación laser en proyectos donde el tiempo es una limitante dado a que la nivelación a partir de RTK toma menos tiempo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Belize Chamber of Commerce and Industry (s.f.) Primary Industries – Sugar (en línea).

Belice. Consultado el 2 de septiembre de 2015. Disponible en:

<http://www.belize.org/tiz/sugar>

Cox, M., Hogarth, M., Smith, G. (2000) Cane breeding and improvement. In “Manual of Cane growing. Bureau of Sugar Experimental Stations, Indooroopilly, Australia pp 91-108

Deliberto, M., Salassi, M. (2010) Estimated Costs of Precision Grading Sugarcane

Fields. LSU Agricultural Center, Dept. of Agricultural Economics and Agribusiness.

John Deere (2008) Land-leveling equipment. (en línea) Consultado el 2 de septiembre

de 2015. Disponible en:

[https://m.deere.com/common/docs/products/equipment/scrapers/pull\\_type\\_scrapers/dsae93782\\_scrapers.pdf](https://m.deere.com/common/docs/products/equipment/scrapers/pull_type_scrapers/dsae93782_scrapers.pdf)

Hernández, E. (2015, septiembre). [Entrevista con Edgar Hernández, Director de Finanzas de Santander Group]

López, F. (2015, septiembre). [Entrevista con Fernando López, Director del Departamento de Ingeniería Agrícola de Santander Farms]

Office of the Gene Technology Regulator (2004) The Biology and ecology of sugarcane

(Saccharum spp. Hybrids) in Australia. Government of Australia. Consultado el 2 de septiembre de 2015 disponible en: [http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/biologysugarcane-toc/\\$FILE/biologysugarcane11.pdf](http://www.ogtr.gov.au/internet/ogtr/publishing.nsf/Content/biologysugarcane-toc/$FILE/biologysugarcane11.pdf)

Ruíz, J. (2015, septiembre). [Entrevista con Juan Pablo Ruíz, supervisor del Departamento de Administración de Santander Farms]

Segura, E. (2015, septiembre). [Entrevista con Ernesto Segura, supervisor del Departamento de Ingeniería Agrícola de Santander Farms]

Subirós, P. (2000). Cultivo de la caña de azúcar. Editorial EULAC. San José, Costa Rica.

## 10.ANEXOS



Figura 16. Construcción del canal que se encuentra entre la ZONA A y ZONA B y que se encarga de recolectar y drenar el agua de ambas.



Figura 17. Construcción del canal que se encuentra entre la ZONA A y ZONA B y que se encarga de recolectar y drenar el agua de ambas.



Figura 18. Excavadora utilizada para hacer el canal de drenaje entre las zonas A y B.



Figura 19. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra.



Figura 20. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra.



Figura 21. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra.



Figura 22. Campo 17 previo a la nivelación al realizar el pasado de rastra.



Figura 23. Tractor con niveladora durante el proceso de nivelación del Campo 17.



Figura 24. Tractor con niveladora durante el proceso de nivelación del Campo 17.



Figura 25. Campo 17 totalmente nivelado y listo para la siembra.