

UNIVERSIDAD CENTRAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO HIDRO GEOMÉTRICO CON DRONE DE UN SISTEMA DE RIEGO Y DRENAJE  
POR GRAVEDAD PARA LA HENIFICACIÓN DE PASTO TRANSVALA  
(DIGITARÍA DECUMBES) EN ABANGARES GUANACASTE.

Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería  
Civil

Wílber Flores Reyes

Universidad Central, Sede Central San José, Costa Rica,  
Abril 2022

## Agradecimiento

Un especial agradecimiento a mis padres que en paz descansen, a mi amada esposa Licenciada Gríbel Cheves Gómez, por el apoyo incondicional y motivación que siempre me brindó.

A mi hijo Licenciado Pablo Flores Cheves por el esfuerzo y apoyo con el levantamiento topográfico con Drone y a mis dos hijas Doctora Pamela Flores Cheves y Gríbel Flores Cheves por sus consentimientos y colaboraciones cuando se los solicité.

Wílber Flores Reyes  
Abril 2022

### Declaración jurada

El presente trabajo final fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de la Universidad Central, Sede Central, San José Costa Rica, como requisito para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

## Índice de contenidos

Contenido	Página
Capítulo I. Trabajo de investigación.....	1
1. Planteamiento del problema.....	1
1.1 Caracterización del problema. ....	1
1.2 Causas del problema. ....	2
1.3. Efectos negativos para el cultivo. ....	3
2. Objetivos. ....	3
3. Antecedente.....	4
4. Justificación ..... 6	6
5. Proyecciones. .... 7	7
6. Alcances..... 7	7
7. Limitaciones..... 8	8
Capítulo II..... 9	9
Marco teórico..... 9	9
2.1. Generalidades de la zona. .... 9	9
2.2. Generalidades del pasto transvala..... 10	10
2.3. Proceso de henificación. .... 11	11
2.4. Preparación del terreno. .... 11	11
2.5. Suelos arcillosos..... 12	12
2.6. Plagas del pasto transvala. .... 14	14
2.7, Nivelaciones de suelos en la zona..... 14	14
2.8. Levantamiento topográfico con drone ..... 18	18
2.9. El riego agrícola..... 20	20
2.10. Trazo del riego o receta de riego..... 21	21
2.11. Drenajes agrícolas..... 25	25
Capítulo III..... 26	26
Marco metodológico ..... 26	26
3.1. Tipo de investigación..... 26	26
3.2. Ubicación del objeto. .... 26	26
3.3 Caracterización del sitio..... 27	27
3.4. Propiedades del terreno..... 27	27
3.5. Procedimiento. .... 30	30
3.6. Procesamiento de datos..... 31	31
3.7. Etapa de cálculos de riego..... 32	32
3.8. Etapa de cálculos del drenaje. .... 32	32
3.9. Materiales..... 33	33
Capítulo IV..... 34	34
Resultados..... 34	34
4.1. Cuadrícula de puntos en el terreno..... 34	34
4.2. Curvas de nivel del terreno. .... 34	34
4.3. Direcciones de las pendientes del terreno..... 35	35

4.4. Relieve longitudinal del terreno.....	36
4.5. Propiedades de la terraza A.....	40
4.6. Propiedades de la terraza B.....	50
4.7. Propiedades de la terraza C.....	58
4.8. Propiedades de la terraza D.....	66
4.9. Cálculos hidráulicos agrícolas.....	76
4.10. Diseño del canal de drenaje.....	80
Capítulo V.....	84
Análisis de resultados.....	84
Conclusiones.....	88
Recomendaciones.....	91
Bibliografías.....	94
Anexos.....	98
1- Ficha técnica del Drone.....	98
2- Caudal de abasto. senara.....	99
3- CC, PMP e Infiltración.....	99
4- Profundidad de raíz.....	100
5-Eficiencia del riego por gravedad.....	100
6- Evapotranspiración de transvala.....	101
7- Precipitación mensual.....	101
8 -Velocidad de infiltración.....	102
9-Velocidades máximas del agua en un drenaje.....	102
10- Rugosidad en canales abiertos.....	103
11- Tractor nivelando terrenos con rufa.....	103

## Índice de cuadros

Contenido	Página
Cuadro 1: Regleta graduada para vertedero triangular utilizada por el SENARA.....	29
Cuadro 2: Ubicación cardinal y número de puntos limítrofes de las Terrazas.....	36
Cuadro 3: Puntos con coordenadas locales, elevaciones y orientaciones que delimitan la Terraza A. (En metros). ....	41
Cuadro 4: Puntos con elevaciones del perfil norte que delimitan la Terraza A. (En metros) ....	44
Cuadro 5: Puntos con elevaciones del perfil sur, que delimitan la Terraza A. (En metros) ....	47
Cuadro 6: Elevaciones promedio de los perfiles norte y sur que delimitan la Terraza A. (En metros). ....	49
Cuadro 7: Puntos con coordenadas locales, elevaciones y orientaciones que conforman la Terraza 2. (En metros). ....	50
Cuadro 8: Puntos con elevaciones del perfil norte que delimitan la Terraza B. (En metros).....	52
Cuadro 9: Puntos con elevaciones del perfil sur que delimitan la Terraza B. (En metros) ....	54
Cuadro 10: Puntos con elevaciones del perfil sur que delimitan la Terraza B. (En metros) ....	56
Cuadro 11: Coordenadas locales y elevaciones de puntos de la Terraza C. (En metros) ....	58
Cuadro 12: Puntos con elevaciones del perfil norte que delimitan la Terraza C. (En metros).....	60
Cuadro 13: Puntos con elevaciones del perfil sur que delimitan la Terraza C. (En metros) ....	62
Cuadro 14: Promedio de elevaciones del perfil sur que delimitan la Terraza C. (En metros) ....	64
Cuadro 15: Coordenadas y elevaciones de los puntos que componen la Terraza D.....	66
Cuadro 16: Puntos con elevaciones del perfil norte que delimitan la Terraza D. (En metros) ....	68
Cuadro 17: Puntos con elevaciones del perfil norte que delimitan la Terraza D. (En metros) ....	70
Cuadro 18: Puntos con elevaciones del perfil sur que delimitan la Terraza D. (En metros) ....	71
Cuadro 19: Puntos con elevaciones del perfil sur que delimitan la Terraza D. (En metros) ....	73
Cuadro 20: Pendientes naturales y de nivelación en cada una de las Terrazas.....	74
Cuadro 21: Cuantificación del volumen de suelo recortado en cada Terraza. (En metros) ....	75
Cuadro 22: Cuantificación del volumen de suelo en cada Terraza. (En metros). ....	78
Cuadro 23: Puntos y elevaciones del sector Sur nivelado, con pendiente a 0,4%.....	82

## Índice de gráficos

Gráfico 1: Perfil longitudinal norte del terreno, comprende los puntos 3, 8, 13, 28 y 31. (en metros).....	37
Gráfico 2: Perfil longitudinal intermedio norte del terreno, comprende los puntos 2, 7, 12, 17, y 22. (en metros).....	37
Gráfico 3: Perfil del terreno C, sector central del terreno, comprende los puntos 1, 6, 11, 16, y 21. (en metros). ....	38
Gráfico 4: Perfil longitudinal intermedio sur del terreno, comprende los puntos 5, 10, 15, 20, (en metros). ....	38
Gráfico 5: Perfil longitudinal sur del terreno, comprende los puntos 4, 9, 14, 19 y 24 (en metros). ....	39
Gráfico 6: Perfil norte con puntos y elevaciones de la Terraza A. (En metros). ....	45

Gráfico 7: Puntos y elevaciones del perfil sur de la Terraza A. (En metros) .....	47
Gráfico 8: Representación de puntos y elevaciones del perfil norte Terraza B.....	53
Gráfico 9: Representación de puntos y elevaciones del perfil sur de la Terraza B. ....	55
Gráfico 10:Representación de puntos y elevaciones del perfil norte Terraza C.....	61
Gráfico 11; Representación de puntos y elevaciones del perfil sur de la Terraza C. ....	63
Gráfico 12; Representación de puntos y elevaciones del perfil longitudinal norte de la la Terraza D.....	69
Gráfico 13: Representación de puntos y elevaciones del perfil sur de la Terraza D. ....	72

## Índice de figuras

Figura 1: Referencia cartográfica de la ubicación del estudio.....	26
Figura 2: Foto aérea del área de estudio.....	27
Figura 3: Foto de la prueba de textura al tacto en seco.....	27
Figura 4: Foto de la prueba de textura al tacto en húmedo.....	28
Figura 5: Terreno desmalezado y estaquillado con primer paso de rastra de discos.....	30
Figura 6: Cuadrícula con ubicación de puntos muestreados en el área de estudio.....	34
Figura 7: Curvas de nivel generadas con los datos del Drone, creadas con CivilCad3D®.....	35
Figura 8: Dirección establecida para la explanación y el terraplén para cada sección en el terreno.....	35
Figura 9: Curvas de nivel de la Terraza A. (Cada 0.05 m). ....	43
Figura 10: Dirección de la escorrentía natural en la Terraza A.....	43
Figura 11: Propiedades generales naturales del terreno de la Terraza A. (En metros). ....	44
Figura 12: Corte del perfil transversal natural superior norte en la Terraza A.....	46
Figura 13: Corte de la nivelación longitudinal norte del del terreno en la Terraza A. ....	46
Figura 14: Corte del perfil transversal natural sur en la Terraza A. (En metros) ....	48
Figura 15: Corte del perfil longitudinal sur Terraza A, nivelado a cero grados. (En metros) ....	48
Figura 16: Corte transversal de nivelación, con pendiente de 0,40% de la Terraza A.....	49
Figura 17: Curvas de nivel de la Terraza B. (Cada 0.05m) ....	51
Figura 18: Dirección de la escorrentía natural en la Terraza B.....	51
Figura 19: Propiedades generales de la Terraza B, en su condición natural. (En metros) ....	52
Figura 20: Corte longitudinal del perfil norte Terraza B. (En metros) ....	53
Figura 21: Corte del perfil longitudinal norte de la Terraza B, nivelado a cero grados. (En metros) ....	54
Figura 22: Corte longitudinal del perfil sur Terraza B. (En metros) ....	55
Figura 23: Corte del perfil longitudinal sur de la Terraza B, nivelado a cero grados. (En metros) ....	56
Figura 24: Corte transversal de nivelación, con pendiente de 0,40% de la Terraza B.....	57
Figura 25: Curvas de nivel de la Terraza C. (Cada 0.05 m) ....	59
Figura 26: Dirección de la escorrentía natural en la Terraza C.....	59
Figura 27: Propiedades naturales del terreno, Terraza C. (En metros) ....	60
Figura 28: Corte longitudinal del perfil norte de la Terraza C. (En metros) ....	61
Figura 29: Corte del perfil longitudinal norte de la Terraza C, nivelado a cero grados. (En metros) ....	62
Figura 30: Corte longitudinal del perfil sur de la Terraza C.....	63
Figura 31: Corte del perfil longitudinal sur de la Terraza C, nivelado a cero grados. (En metros) ....	64
Figura 32: Corte del perfil de nivelación Terraza C, con pendiente de 0.4%. (En metros) ....	65
Figura 33: Curvas de nivel de la Terraza D. (Cada 0,05 m) ....	67
Figura 34: Dirección de la escorrentía natural en la Terraza D.....	67
Figura 35: Propiedades naturales del terreno, Terraza D. (En metros) ....	68
Figura 36: Corte del perfil norte de Terraza D. (En metros) ....	69

Figura 37: Corte del perfil norte de Terraza D, (En metros) .....	70
Figura 38: Corte del perfil longitudinal norte de la Terraza D, nivelado a cero grados.....	71
Figura 39: Corte del perfil longitudinal sur de la Terraza D, (En metros) .....	72
Figura 40: Corte del perfil longitudinal sur de la Terraza D, nivelado a cero grados. (En metros) .....	73
Figura 41: Corte del perfil de nivelación Terraza C, con una pendiente de 0.4%. (En metros) .....	74
Figura 42: Áreas de corte y relleno de los perfiles transversa de las Terrazas, con una pendiente de 0.4%. (En metros) .....	75
Figura 43: Propiedades del canal de drenaje en forma según el programa H Canales.....	83

#### Índice de signaturas

1. SENARA: Servicio Nacional de Riego y Avenamiento.
2. DRAT: Distrito de Riego Arenal Tempisque.
3. CV: Caballos vapor.
4. Spp: Muchas variedades de una especie de plantas o animales.
5. ITCR: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
6. m<sup>3</sup>/s: Metros cúbicos por segundo.
7. mm/h: Milímetros por hora.
8. Ha: Hectáreas.
9. Etc (Eto): Evapotranspiración de cultivo.
10. ARDESA: Arenal Dengo Sandillal.
11. MDE: Modelo Digital de Elevaciones
12. ZCIT: Zona de Convergencia Intertropical.

## Índice de conceptos

1. *aeneolamia postica*: Nombre científico de especie insecto baba de culebra.
2. Agotamiento permisible: Es la cantidad de agua que el suelo debería tener siempre, como mínimo, para que la producción y rendimiento del cultivo sea siempre la máxima posible.
3. Agrostología. Rama de la zootecnia que estudia los pastos.
4. *andropogon gayanus*: Nombre científico del pasto zacate llanero.
5. Angleton: Nombre común del pasto *dichamthium annulatum*.
6. *Brachiaria dictyoneura*: Nombre científico de un cultivar de pasto.
7. Capacidad de campo: Se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje.
8. *cercopidae*: Los insectos cercopoideos o chicharritas son una superfamilia de insectos hemípteros pertenecientes al suborden Auchenorrhyncha. Anteriormente se consideraba taxonómicamente encuadrada en la familia *cercopidae*, pero, más adelante ésta se escindió en varias familias separadas: *aphrophoridae*, *cercopidae* y *clastopteridae*.
9. Coluvio-Aluviales: Material detrítico, transportado por un río y depositado, casi siempre temporalmente, en puntos a lo largo de su llanura de inundación. Están normalmente compuestos por arenas y gravas (terrazza fluvial, rejuvenecimiento, depósitos coluviales, depósitos eluviales)
9. *cercópidos*: Insectos de la familia *cercopidae*.
10. *digitaria decumbens stent*: Nombre científico pasto transvala.
11. *digitaria decumbes*: Nombre científico de pasto pangola
12. Display: Nombre común del instrumento indicador de dirección al tractorista.
13. Escorrentía (E): Es la lámina de agua de lluvia que circula sobre la superficie de una cuenca a una altura definida en milímetros. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo.
14. Esmectitas: Son un conjunto de minerales que se dividen en dos grupos, distinguiéndose:  
Las dioctaédricas (alumínicas), tales como la montmorillonita  
( $(\text{NaCa})_{0.3}(\text{Al Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), la beidelita.  
( $(\text{NaCa}_{0.5})_{0.3}\text{Al}_2(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) o la nontronita  
( $\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_{3+2}(\text{SiAl})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ )
15. Estoloníferos: Grupo de plantas que extiende tallos rastreros con raíces.
16. Estrella, Nombre común de especie de pasto.
17. Explanación: Se denomina así a las obras de remodelación del terreno natural que es preciso realizar para conseguir la geometría prevista y definida en la nivelación establecida a una cota determinada del terreno.
18. Fanguado: Labor de preparación de suelos desarrollada en el cultivo de arroz, donde se acoplan llantas traseras de hierro para licuar el suelo sobresaturado.
19. Flor Rey. Nombre de la finca donde se realizó el estudio
20. Heno: El heno es el pasto cortado, seco y se utilizada como alimento para los animales.
21. *homóptera*: Antiguo orden a que pertenecen grupos de insectos con alas muy uniformes y actualmente fue renombrado como orden *hemíptera*.
22. Jaragua. Nombre común de especie de pasto.
23. Media: Parámetro estadístico que indica el valor central en dos medidas diferentes.

24. Melgas: Estructura planimétrica superficial del terreno rodeada de bordes de tierra para retener agua en cultivos inundados.
25. *oriza sativa*, Nombre científico del arroz
25. Pacas: Presentación sólida rectangular de pasto empacada.
27. *prosapia bicinta*: Nombre científico de especie insecto baba de culebra.
28. *prosapia distante*: Nombre científico del insecto baba de culebra.
29. *prosapia simulans*: Nombre científico de especie insecto baba de culebra.
30. Punto de marchites permanente (PMP): Es el contenido de agua de un suelo que se mantiene, cuando este ha perdido humedad a causa del cultivo, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para esta.
31. Receptor: Modulo que recibe la elevación en la rufa.
32. Rufa: Nombre común usado en la zona para identificar la pala niveladora que recoge el suelo,
33. Transvala: Variedad del pasto pangola usada para producir heno.
34. Xilopacas: Presentación sólida circular de pasto empacada.
35. *zuliavilior*: Nombre científico de especie insecto conocido como baba de culebra.

## Introducción

La henificación es un proceso productivo muy importante para las ganaderías en las zonas caracterizadas por tener climas tropicales secos, al estar bien definidas las estaciones secas y lluviosas obliga a los ganaderos a prepararse con el almacenamiento en seco del pasto *Trasnvala (digitaria decumbes)*, mediante el proceso de henificación en forma mecanizada, convirtiéndose esta práctica en una actividad económica muy importante que ha crecido, compite en los últimos años con la producción de arroz (*Oriza sativa*).

La ejecución del Canal del Sur por parte del SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas y Avenamiento) en la zona baja del cantón de Abangares ha generado cambios en muchas fincas, donde la producción de arroz en secano (dependiente de la precipitación natural) a sistemas de producción con riego utilizando el agua del proyecto SENARA, donde se incorporan otras acciones operativas, correspondientes a ingenierías como la hidráulica, la hidrología y la conservación de suelos, que anteriormente no fueron valoradas lo suficiente como actividades productivas de la fincas que en un inicio tuvieron acceso al agua, durante los últimos años del siglo pasado en el cantón de Cañas.

La aplicación del riego por gravedad en Guanacaste, se establece en este cantón y se enfoca principalmente para la producción del cultivo del arroz, inicia con la ejecución del primer plan piloto de construcción de obras en el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT). En agosto de 1981, se agregó recientemente la etapa correspondiente a la construcción del Canal del Sur, que irriga gran parte de la zona baja del cantón de Abangares basado el mismo patrón acontecido en el cantón de Cañas.

El agua para abastecer este proyecto de riego proviene de la laguna de Arenal. Esta se desplaza a través del túnel que se descarga en el cantón de Cañas en los embalses de Sandillal, para luego ser distribuida por gravedad en los canales a las áreas de cultivo. Desde su inicio este riego ha permitido la producción de cultivos en la época de verano y ha sido de mucha importancia para el desarrollo agrícola de la zona, lo cual ha modificado en gran medida la topografía del terreno, para adecuarla a las necesidades hídricas de los cultivos.

Este estudio es de mucha importancia para el manejo de suelos y el sistema de riego por gravedad, va dirigido a las prácticas de nivelación de los suelos, ayuda a mejorar la productividad del pasto transvala y aprovechar el potencial productivo de la zona. También aporta nuevos criterios de conocimiento a los productores que se dedican a la explotación de heno en sus terrenos, considera nuevos elementos técnicos que pueden ser incorporados en el uso sostenible del agua y el proceso productivo del pasto.

El presente trabajo es un diseño hidro geométrico en un terreno propiedad de finca Flor Rey, abarca la nivelación del terreno, el cálculo del caudal y el drenaje adyacente, para disminuir los efectos negativos que causan el exceso de agua al pasto, principalmente en la época de lluvias. El estudio se desarrolló en la localidad de la Palma de Abangares, Guanacaste, Costa Rica y corresponde al Trabajo Final de Graduación para optar por la Licenciatura en Ingeniería civil en la Universidad Central, Costa Rica.

## CAPÍTULO I. TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1. Planteamiento del problema

#### 1.1 Caracterización del problema

En muchos terrenos de cultivo del pasto transvala (*digitaria decumbes*) actualmente producido con riego por gravedad, usado para la henificación, las operaciones de manejo hidro geométrico, que se están ejecutando en estas áreas, ubicadas en la zona baja del cantón de Abangares, son equiparadas a la tecnología de la producción de arroz. La explotación de este pasto para heno ha sido muy importante para suplementar las demandas de consumo animal en la época de verano, por medio de conservación y almacenamiento forma de heno (pacas y xilopacas). Las labores de manejo están basadas en las necesidades hidro geométricas del cultivo de arroz debido a que la producción de este cereal en el siglo pasado fue la principal actividad económica de la mayoría de terrenos en la zona, sobre el cual se basaron para desarrollar todas las técnicas de manejo de suelos y aguas. La sustitución del cultivo de arroz (*oriza sativa*) a la siembra de pasto transvala (*Digitaria decumbes*) originó que los diseños hidro geométricos de este, están siendo trasladados al manejo del pasto transvala (*digitaria decumbes*) sin modificaciones, obviando las necesidades hidro geométricas específicas de este, lo que está causando irregularidades en el rendimiento productivo, producido principalmente por la susceptibilidad a los excesos de agua y al ataque de la plaga de los pastos *Prosaphia spp* que causa graves daños al sistema radical.

## 1.2 Causas del problema

En muchas fincas donde se establece el riego por gravedad del pasto transvala (*digitaria decumbes*), el diseño hidro geométrico que se está aplicando está basado en las necesidades tecnológicas hídricas del cultivo de arroz (*oriza sativa*) y no específicamente en las del pasto Transvala (*digitaria decumbes*), las cuales técnicamente son diferentes.

1.2.1 La maquinaria y equipo que se utiliza para implementar el diseño hidro geométrico en el campo, se compone principalmente de un tractor con capacidad de arrastre de más de 100 caballos vapor (cv), que asegura el acarreo de la rastra pesada de primer paso, posteriormente debe arrastrar la pala conocida popularmente como rufa para realizar los movimientos de suelo, basándose en los datos de pendientes del diseño, que previamente son ingresados al sistema de nivelación de rayo láser, el cual genera las señales al operador para dirigir la ruta por donde tiene que cargar suelo y depositarlo en el lugar indicado según las elevaciones del terreno, esta operación también puede ser por medio del sistema automatizado información satelital guiado con los datos de la estación total, donde se utiliza el emisor que aporta la dirección de la curva de nivel, marcada en el display y el receptor que le indica al operario donde tiene que cargar suelo para nivelar el terreno, que debe trasladarse de las áreas de mayor elevación y se tienen que descargar en las áreas de menor elevación.

### 1.2.2 Excesos en el consumo de agua.

El cultivo de arroz bajo el sistema de riego por inundación debe permanecer por mucho tiempo con láminas de agua sobre el nivel de suelo en forma anegada, estas plantas por propiedad anatómica y fisiológica tiene más demandas de agua que el pasto, en este los requerimientos son inferiores y no soporta las inundaciones que son las causantes de pudriciones de raíz y tallo, además que se favorece la emergencia de plagas.

1.2.3 Actualmente los diseños hidro geométricas para el pasto, no están considerando la importancia del establecimiento de canales de drenaje, que son requeridos para evacuar el exceso de precipitación durante la estación lluviosa, en estas circunstancias las demandas de agua por el cultivo son inferiores al aporte de las precipitaciones, lo que genera la necesidad del drenaje para evacuar los excesos y evitar las afectaciones en las plantas descritas anteriormente.

### 1.3. Efectos negativos para el cultivo

1.3.1. Proliferación de plagas en el pasto debido a los excesos de agua

1.3.2. Existen mayores gastos económicos para el productor por el mayor consumo de agua lo que hace que el productor tenga que pagar más por su uso, sumado a las mayores cantidades de suelo que se tienen que remover.

1.3.3. Mayor abrasión en ríos adyacentes

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo general

Diseñar el modelo hidro geométrico de riego y drenaje, para el manejo de pasto Trasnvala, según los rangos técnicos de requerimientos de agua y los parámetros permitidos por la pendiente y la infiltración del suelo.

## 2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Reconocer las necesidades hídricas del pasto Trasnvala.

2.2.2. Diagramar geométricamente el área de la parcela por estudiar.

2.2.3. Determinar alineamientos horizontales y verticales de las Terrazas, para el abastecimiento hídrico y calcular el volumen de los movimientos de suelos, con sus pendientes y canal de drenaje.

## 3. Antecedente

Según el decreto ejecutivo MAG y la Vicepresidencia de la República de Costa Rica (1984), declaran el 16 de marzo de 1984 la creación del Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT) mediante el Decreto ejecutivo N°15321-MAG con potestad para administrar y controlar las aguas turbinadas en el complejo hidroeléctrico Arenal - Dengo - Sandillal (ARDESA), en función de su aprovechamiento para irrigación en las partes bajas de los cantones Cañas, Bagaces, Liberia, Carrillo y Abangares.

Para 1985 ya se tiene la Primera Etapa que son las primeras 7.448 ha habilitadas con riego en el sector de Cañas por medio del canal sur tramo I. La construcción de la II Etapa del DRAT se inició en 1991 y para 1999 el área regable del DRAT alcanzó las 18.158 ha mediante el Canal Oeste tramos I y II. En el año 2000, con inversión privada, se inició la construcción del Canal Oeste Tramo III, para suministrar riego a 9.200 ha (III Etapa). Del 2014 al 2018 se construyó el Canal Sur tramo II, que brinda servicio a 2.000 ha adicionales (IV Etapa).

En la actualidad hay cerca de 29.500 ha habilitadas con los servicios de riego por gravedad y bombeo y agua para piscicultura, se requieren recursos para la construcción de la red secundaria en parte del sub distrito Lajas y en el sub distrito Abangares para habilitar 6.000 ha más.

El método para calcular el caudal entregado en las parcelas de riego para el pasto y el arroz establecido por el SENARA en el DRAT es por medio de un cuadro y una curva de calibración. Los datos que se obtienen son para calcular las demandas de agua de todo el distrito de riego durante el año. Este método muestra la relación del tirante de la toma con respecto al caudal de agua de ingreso a la parcela. A la hora que el canalero abre la compuerta, mide el tirante en el canal y a través del uso de la curva estima el caudal servido. (Murillo, 2013).

Según Morales y otros (2003), citado por Murillo describe que el pasto Transvala es una gramínea originaria de Sudáfrica, que ingresó a los Estados Unidos en 1935 y probablemente de ahí se trajo a Costa Rica en la década de los 70. Esta variedad vino a sustituir al pasto Pangola el cual presentó muchos problemas de plagas y enfermedades, en Costa Rica y en otros países.

Define también que se deben hacer al menos tres riegos durante ciclos de 45 días en crecimiento y desarrollo de la pastura. Esto depende de la textura y de la capacidad de retención de agua por parte del terreno.

Santiago y Soubannier, (1985) sugieren que, en condiciones ideales de riego por inundación, el agua debe ser suministrada desde la parte más alta, desbordándose de un canal principal y dejándola correr por el terreno que ha sido dividido previamente por muros.

En Costa Rica en la estación experimental del INTA ubicada en Cañas, Guanacaste, se iniciaron las investigaciones bajo sistemas de riego con el pasto Transvala, por ser ésta la especie forrajera más utilizada en la producción de Heno comercial.

El MAG evaluó a nivel de finca, el método de siembra del cultivo, del establecimiento hasta producción y los procesos de manejo de lotes para henificación, costos y rentabilidad. El método de establecimiento se mantiene igual, más bien reduciendo un poco la intensidad de ciertas labores, a causa de la oportunidad de este cultivo para utilizar la infraestructura del arroz sin mayores problemas, con una reducción favorable en costos de establecimiento.

La adecuación del terreno para riego debe hacerse inmediatamente después de la preparación del terreno, puede nivelarse con una pendiente de alrededor del 1 o 2 %.

En el DRAT la infraestructura existente para el arroz se adapta perfectamente para la producción de Heno. (MAG INTA, 2003)

#### 4. Justificación

Araya, Valverde y Dengo (2010) describen que la Vertiente del Pacífico de Costa Rica, la estación seca y la húmeda están bien definidas, al Norte de esta vertiente se acentúa más la condición seca, permitiendo dar paso a la transición, al pasar de la estación seca a la lluviosa y viceversa. Es la transición de aquellos períodos en los que la demanda de agua no es completamente satisfecha por la reserva de la humedad del suelo.

Las quincenas de transición son períodos importantes para las labores agrícolas, tales como la preparación de suelos (limpieza, arado, rastreo) porque permiten que la maquinaria trabaje sin contratiempo.

Este trabajo se realiza para evitar los efectos del exceso de agua en el pasto durante el invierno y una mayor eficiencia en el manejo del riego en el pasto *Trasnvala (digitaria decumbes)* en la época seca en la zona, el pasto presenta en épocas muy lluviosas un detrimento importante en la productividad de pacas, el cual se asocia en gran medida al ataque del *insecto prosapia*, también conocido comúnmente como baba de culebra y otras plagas del suelo que se desarrollan en condiciones de suelos saturados. Se aporta a los productores de heno un modelo de diseño que permita hasta donde sea posible según la planimetría del terreno, un sistema de riego por gravedad rápido, que no sature los suelos y que evite considerablemente los ataques de la plaga. También establece una menor demanda de volúmenes de agua en verano, agregándose un canal de drenaje que evacuará, los excesos de agua en la época lluviosa.

## 5. Proyecciones

El estudio proyecta la apertura de un nuevo criterio técnico para realizar las nivelaciones de terreno cuando el productor de la zona decida aplicar la técnica de rotación del cultivo del arroz a la producción del pasto, en el campo de la investigación y de la ingeniería abre un nuevo tipo de estudio donde propone que el desarrollo de obras en los suelos sea elocuente al pasto con una mayor eficiencia en manejo del recurso hídrico.

## 6. Alcances

El presente trabajo tiene como alcance final generar el diseño gráfico de los movimientos de suelos que el terreno permita de acuerdo a sus pendientes y la erosión según la textura del suelo, también contempla definir las direcciones, elevaciones y distancias de las Terrazas, que funcionan como canales sobre el nivel del suelo que permiten conducir el agua en el terreno a irrigar, respetando los rangos técnicos permitidos por la erosión hídrica.

Se establece. además, el diseño de los canales de drenaje con sus dimensiones técnicas, basado en las capacidades que permitan evacuar los excesos en épocas de lluvia. Como aporte final el diseño le otorgará al operador de la maquinaria utilizada para los movimientos de suelo los datos necesarios para calibrar los equipos, cuantificando los volúmenes de tierra que se deben reubicar.

## 7. Limitaciones

El estudio define actividades que se deben realizar con el Drone el cual puede arrojar afectaciones por la acción del viento cuando se están recolectando datos de campo, esto puede causar variaciones en el registro exacto de las coordenadas x, y, z, generando un error en las mediciones, que se pueden corregir mediante la verificación y ratificación aplicando modelos estadísticos de diseños experimentales y cálculos de error.

La investigación también está enfocada en las propiedades físicas del suelo de la parcela, no contempla la calibración de los equipos, tampoco la ejecución de los movimientos de suelo ni sus valores económicos.

El trabajo aportará todos los cálculos del volumen de suelo que debe ser removido, mediante el procesamiento en el programa CivilCad3D® 2019, es este el dato más importante que el propietario del terreno debe conocer para hacer el presupuesto del proyecto,

## CAPÍTULO II

### II. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Generalidades de la zona

Según el Anuario de Estudios Centroamericanos (UCR, 1987) la provincia de Guanacaste ocupa un área de 10.141 kilómetros cuadrados, al Sur de la frontera con Nicaragua entre el Océano Pacífico y la Cordillera Volcánica de Guanacaste donde se localizan los volcanes Arenal, Tenorio, Miravalles, Rincón de la Vieja, Orosí y Chato, que marca la divisoria continental de aguas. La mayor parte de la provincia está formada por una inmensa llanura costera irrigada por el río Tempisque y sus tributarios. Junto con dos cantones adyacentes de la provincia de Puntarenas, la región se conoce en Costa Rica como el Pacífico Seco por su severa sequía anual, que tarda de noviembre a mayo, debido en parte a una escasez estacional de agua y una topografía favorable, la ganadería extensiva ha sido la principal actividad económica desde la conquista española en el siglo XVI. Muchos hacendados iniciaron en los años 50 cultivos intensivos de arroz, azúcar y algodón, pero lo riguroso de la estación seca y las frecuentes inundaciones durante la estación lluviosa han limitado su expansión.

Palma M y Sánchez O. (2001) describen que los pastos que presentan mejores condiciones para la elaboración de heno son aquellos que presentan hojas y tallos delgados, que permitan la eliminación del contenido de humedad en pocas horas. Algunas especies aptas son las siguientes: Transvala, Jaragua, Pangola, Estrella, *brachiaria dictyoneura*, *andropogon gayanus* y Paja de arroz. Sin embargo, resulta importante mencionar que actualmente en Costa Rica los pastos Pangola, Suazi y Transvala, constituyen las especies más cotizadas para la henificación, por su calidad y cantidad de forraje producido y por presentar tallos delgados (Palma y Sánchez, 2001).

## 2.2. Generalidades del pasto Transvala

El MAG INTA (2003) citan que el pasto Transvala es una gramínea originaria de Sudáfrica, que ingresó a los Estados Unidos en 1935 y probablemente de ahí se trajo a Costa Rica en la década de los 70. Esta variedad vino a sustituir al pasto Pangola el cual presentó muchos problemas de plagas y enfermedades, en Costa Rica y en otros países. Su valor nutritivo, al igual que todas las especies forrajeras, depende del manejo, con un rango que va desde 3 - 13 % de contenido de proteína cruda y una digestibilidad in vitro de la materia orgánica que va del 44.4 al 73.8 %, dependiendo de la edad de rebrote; por lo general, después de 45 días de edad los parámetros de calidad mencionados se desploman.

Su sistema de reproducción por estolones le da una gran capacidad de propagación y establecimiento. Su hábito de crecimiento erecto, denso, hojas y tallos finos, le dan características deseables para la henificación. Aunque también puede utilizarse para pastoreo, su mejor aprovechamiento es como heno.

Esta especie se encuentra establecida en varias zonas del país, pero particularmente en la Región Chorotega donde su principal utilización es para heno. El sistema tradicional de henificación de ésta y otras especies es de secano (Ausencia de riego), con buena producción, pero de calidades muy bajas comparables a las pacas de arroz.

El sistema de henificación del pasto Transvala bajo riego, logra aumentar la producción y la calidad del heno significativamente, con resultados económicos y de rentabilidad superiores a las actuales en el cultivo del arroz.

Su principal medio de propagación es por estolones y tallos enraizados. Prácticamente no produce semilla sexual viable. Como toda especie forrajera puede estar sujeta a ataques de plagas y enfermedades cuando se dan condiciones climáticas especiales como es el caso del Falso Medidor (*mocis latipes*), controlable con los riegos o el hongo *Gaeumnomyses* sp. erradicable con los insecticidas Bayleton o Atemi.

### 2.3. Proceso de henificación.

El proceso de henificación convierte un forraje verde y perecedero en un producto que puede ser almacenado en forma segura y transportado fácilmente sin riesgo de deteriorarse; al mismo tiempo, las pérdidas de materia seca y nutriente se limitan a un mínimo. Este proceso se basa en una reducción del contenido de humedad de 70-90 por ciento a 20-25 por ciento o menos. Las técnicas aplicadas para las pasturas naturales, para las praderas artificiales y para los cultivos específicos destinados a ser conservados son consideradas a tres niveles de tecnología: producción manual de Heno, mecanización simple con animales de tiro o pequeños tractores y sistemas totalmente mecanizados. Es posible, sin duda, hacer alguna o todas las operaciones de producción de Heno en forma mecánica y por contrato, siempre que los campos sean lo suficientemente grandes como permitir esas operaciones; esto es posible, sobre todo, donde el clima en el momento de la cosecha es favorable. (Murillo, 2013).

### 2.4. Preparación del terreno

Para el MAG INTA la preparación del terreno para un buen establecimiento del pasto Transvala se recomienda mecanizar el suelo. Como se va a utilizar semilla vegetativa, no se requiere una preparación del suelo muy fina. Sin embargo, como se trata de producción de heno bajo riego, se debe tener el cuidado de realizar una nivelación que permita que las terrazas o bancales se mojen totalmente y además haya un drenaje adecuado.

Hay experiencias exitosas inclusive, con fangueado, cuando por condiciones de clima u otras limitaciones, se ha tenido que preparar el terreno de esta manera. Como la mayoría de los cultivos, el pasto Transvala prefiere suelos francos, sin embargo, produce bien en suelos pesados (arcillosos).

Adecuación del terreno para riego. Debe hacerse inmediatamente después de la preparación del terreno; puede nivelarse con una pendiente de alrededor del 1 o 2 %, sin embargo, esta práctica es cara ( $\pm$  ¢150 000/ha, cambio = ¢395/\$) [tasa de cambio a junio del 2003] y es un costo que se podría obviar con un buen trabajo topográfico, utilizando las curvas de nivel mínimas necesarias, de tal manera que se garantice el mojado completo y el drenaje adecuado de los lotes de riego.

## 2.5. Suelos arcillosos.

El MAG INTA, (2014) anotan que los Vertisoles son suelos minerales muy arcillosos, derivada del latín *vertere*, que significa dar vuelta. Para que se origine este tipo de suelo es necesaria la interacción de ciertos factores: una zona baja y plana que impida el buen drenaje y la acumulación de los materiales ricos en silicio, calcio y magnesio. En Costa Rica se les conoce comúnmente como Sonzocuites y los principales Vertisoles se clasifican como Usterts (estacionalmente secos), Uderts y Aquerts (los más húmedos), encontrándose sobre las mesetas tobáceas e ignimbríticas de la formación Bagaces en el paisaje plano del Guanacaste. Son suelos que se clasifican por sus características dominantes en otros órdenes, pero presentan en algún grado características relacionadas con esmectitas, particularmente en superficie. En general, los Vertisoles de Costa Rica tienen más de un 50 % de la fracción arcillosa dominada por esmectitas y se forman a partir de tobas riolíticas con adiciones de ceniza volcánica andesítica muy fina en el Valle Central y en Guanacaste, en áreas con una estacionalidad climática muy definida.

Estos suelos por lo general, se les ubica en la zona de Guanacaste, específicamente, en los cantones de Liberia, Carrillo, Nicoya, Bagaces, Cañas y Abangares. También algunos sectores de Puntarenas, Alajuela (Los Chiles), Cartago y San José (Santa Ana).

Según Dengo citado por Alvarado (1962), en Costa Rica los principales Vertisoles se clasifican como Usterts (estacionalmente secos), Uderts y Aquerts (los más húmedos), encontrándose sobre las mesetas tobáceas e ignimbríticas de la formación Bagaces en el paisaje plano del Guanacaste y en los lentes Coluvio-Aluviales del Valle Central. (Dengo 1962).

Henríquez y Cabalceta 2012 citados por Umaña (2019) escriben que en Costa Rica una de las metodologías más utilizadas para determinar el agua disponible para las plantas es la curva de retención de humedad. El agua disponible se determina sometiendo muestras de suelo saturado en una cámara cerrada a diferente presión, generalmente a 0,33bar y 15 bar, determinando respectivamente el Punto de Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Los valores de CC y PMP van a depender de si se trata de suelos con partículas finas o con partículas gruesas, si se habla de un suelo con cantidades importantes de limos y arcillas el valor de capacidad de campo puede encontrarse alrededor de 0,01 MPa de presión de succión, en caso de suelos con partículas arenosas, gravas o guijarros el valor va a ser más alto, alrededor de a, 33 bar.

## 2.6. Plagas del pasto Transvala

Alfaro y Oviedo (1999) citan que desde 1982 el Salivazo (*Prosaphia simulans*) fue reconocido como plaga importante en el cultivo porque esta logró difundirse rápidamente en el país debido a varios factores, entre ellos: la drástica sustitución de 5.900 hectáreas de pasto por siembras de cítricos en la en las zonas de San Carlos y Guanacaste y la habilitación de nuevas áreas de siembra bajo riego dando como resultado la introducción y extensión del melón y el arroz). Mejorar drenajes principalmente en suelos arcillosos los cuales por su textura pueden empozarse, presentando con ello las condiciones ideales para el desarrollo de la plaga.

Para Morales y Peck (2003) la *Prosaphia simulans* la duración total de la fase de huevo, ninfa y adulto es 18,0, 45,6 y 16,5 días, respectivamente, para un ciclo de vida 71,9 días. La diapausa se exhibe en la fase del huevo extendiendo el desarrollo hasta 128 días.

(Peck 1999) citado por Vintton y Rut León anotan que esta especie tiene una amplia distribución y es muy común en tierras bajas y medias. En Monteverde (provincia de Puntarenas), los machos llegan a tierras aún más altas, aparentemente debido a migraciones anuales *P. Simulans* alcanza el estatus de plaga en los pastizales ubicados en las tierras bajas de las provincias de Guanacaste y Puntarenas a lo largo de la Costa Pacífica. Esta especie usualmente no alcanza el estatus de plaga en cañales en Costa Rica, ni en pastizales de la costa Atlántica.

## 2.7 Nivelaciones de suelos en la zona

En Costa Rica la mayor cantidad de maquinaria de labranza mínima y siembra directa es adquirida para el uso en cultivos de arroz y actividades de ganadería en la siembra de alimentos para animales como pastos, sorgo, maíz.

La labranza mecanizada juega un papel importante en la degradación del suelo. La agricultura de precisión en conjunto con los sistemas de Tráfico Agrícola Controlado (CTF) y la labranza reducida contribuyen a la agricultura mecanizada porque reducen la compactación del suelo, disminuyen las pérdidas del suelo y aumentan los rendimientos del cultivo.

Según Mena (2010) una vez que se tenga limpio el terreno, se procede a la nivelación, donde se debe dejar el terreno a nivel que establecen los planos. Dentro la nivelación se pueden hacer cortes, rellenos y Terrazas. Es importante conservar los niveles de referencia de los planos. Se calculan los volúmenes de corte y relleno para lograr el nivel deseado. En muchas ocasiones se puede contar con un plano que contenga las curvas de nivel, las cuales se utilizan para realizar los cálculos de volumen, de acuerdo con los perfiles del terreno. Si se toman perfiles del terreno el volumen de material se puede determinar mediante la fórmula de las áreas de secciones transversales de acuerdo con la siguiente ecuación;

$$V(A1+A2) \frac{H}{2}. \quad (1)$$

Donde:

A1= Área perfil 1

A2= Área perfil 2

H= Altura del perfil.

La nivelación o empareje del terreno es la actividad que se debe realizar antes de empastar el potrero y principalmente si se va a regar por sistema de riego por superficie, es necesario nivelar o cuando menos emparejar el terreno para eliminar los montículos y/o depresiones que éste presente, lo anterior es con la finalidad de que el pasto no sea afectado en forma negativa por la falta de agua en algunos puntos del potrero y por inundaciones en otros.

Los estudios de nivelación deben basarse en levantamientos topográficos exactos, que permitan un diseño económico del trabajo de la maquinaria.

La elección del método de nivelación estará condicionada por características de suelo, cultivo, pendiente, formas de terreno y recursos económicos. A continuación, se describen en forma general tres métodos para cálculo y ejecución de nivelaciones:

a) Emparejamiento: Consiste en eliminar las elevaciones y rellenar las depresiones, sin conservar ninguna pendiente uniforme. Este método sólo cumple con el propósito de hacer fluir el agua de riego y se justifica cuando los suelos son poco profundos o cuando están destinados a cultivos como cereales y praderas. La maquinaria por usar puede ser rastrones niveladores o palas de cola tiradas por tractor. Es una labor de bajo costo y con movimientos de suelo no mayores de 50 a 100 m<sup>3</sup>/ hectárea. El sistema de nivelación con rayo láser, está compuesto por un emisor y un panel de control, de los cuales el primero se ubica unido a la cuchilla de la máquina y una altura que permite fijar el nivel de corte en un plano paralelo al plano de referencia, de tal forma que el receptor detecta la altura de la cuchilla respecto al plano final de corte y envía al plano de control del operador esa información, tomando las medidas necesarias para eliminar esa diferencia. El panel de control se ubica en la cabina del equipo de movimiento de tierra y brinda información luminosa al operario referente a la altura de la cuchilla, permitiéndolo activar, controlar y fijar los modos del sistema.

Nivelación de primer grado: Corresponde a los terrenos en los que la disposición de las curvas de nivel muestra una topografía semejante y bastante uniforme y donde con dos o tres pasos de la niveladora se logra proyectar un buen trazo de riego. En este tipo de nivelación no se efectúan cálculos previos de plano y cotas proyecto, no se modifican las pendientes naturales del terreno.

Para una más eficiente operación en siembra y preparación y siembra, asimismo para el manejo del cultivo, equipo para cosecha y manejo del agua de riego, los diques o caballones deberían ser paralelos y las melgas tener un ancho uniforme. Este resultado se logra efectuando una labor de nivelación del terreno de manera tal, que se puedan obtener curvas de contorno ligeramente recto y uniformemente esparcido.

Una nivelación con el sistema láser tradicional tiene como fundamento la copia en el suelo de un plano de luz formada por un emisor. Un transmisor colocado sobre un trípode o una torre en el terreno por nivelar emite un rayo láser que gira a aproximadamente 600 rpm y forma un plano de luz con un alcance de precisión hasta 600 m de radio dependiendo del tipo de aparato. Este plano se ajusta a una pendiente (Cruz, 2009).

Zúñiga (2019) describe que el sistema receptor, colocado en el palón o en la pala de arrastre, tiene la función de mantener el nivel de la cuchilla paralelo al plano de referencia; cuando el equipo pasa por una parte alta, el receptor ordena a la cuchilla bajar y cortar, cuando se encuentra en un bajo, se ordena a la cuchilla subir para descargar la tierra. El operador recibe las indicaciones en un tablero ubicado en la cabina del tractor, con tres luces de colores, que le indican la ubicación del plano láser, superior, intermedio e inferior rojo, verde y amarillo; deberá operar con la luz verde que indica que el receptor está bien ubicado en el plano de luz. El tractor debe tener la potencia adecuada y el sistema hidráulico debe ser lo suficientemente fuerte para trabajar con la frecuencia de ajustes que el rayo láser impone.

En la actualidad los equipos de nivelación de terrenos en la agricultura han evolucionado en correspondencia con el desarrollo tecnológico basando su funcionamiento en los GPS, (Sistemas de Posicionamiento Global).

Como es el caso del sistema AgForm-3D y los Hiper Ag el sistema determina las diferencias de altura referidas a una superficie, permiten estudio de terrenos, diseños de nivelación y realizar levantamientos topográficos con precisión RTK. No es necesario que exista visión entre las posiciones que se desea relevar, como en la topografía convencional con el uso del teodolito o estación total. Sólo se necesita de una apertura al cielo. Esto quiere decir que no puede haber impedimento físico entre la antena del receptor y los satélites, como, por ejemplo: copas de árboles, construcciones, tendido eléctrico (IICA, PROCISUR, (2014).

Topolanski 1985 citado por Arguedas, para mantener el cultivo de arroz inundado y controlar el agua que cubre el suelo, es necesario disponer de medios bancales y que son simples caballones o lomas de tierra. Para encarar la construcción de los bordos para un arrozal, no se puede dar un modelo ni sistema determinado que satisfaga las condiciones de los distintos ambientes en que se practica este cultivo.

## 2.8. Levantamiento topográfico con Drone.

Santamaría, J (2019), comparó, con el fin elaborar el levantamiento topográfico para relacionar y comparar el tiempo, costo y confiabilidad utilizando Drone y estación total, el cual fue elaborado con estos equipos, permitiendo contrastar los resultados y obteniendo como conclusión que:

La topografía realizada con Drone es una técnica innovadora al método tradicional, proporciona imágenes de alta calidad, para luego llevarlas al programa Agisoft y así unir las fotos, lo cual genera el relieve del terreno de calidad, el cual servirá para una adecuada elaboración de planos.

Diego (2002) cita que las nubes de puntos como se ha descrito anteriormente a partir de las tomas fotográficas y el procesado mediante software específico, este permite la generación de nubes de puntos que caracterizan el territorio o el objeto que se pretende representar.

Los modelos Digitales del Terreno y/o Elevaciones Constituida la nube de puntos se suele generar un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) en el que la variable modelizada es la altura o cota, obteniéndose, por tanto, una estructura numérica de datos que representa una variable cuantitativa y de distribución continua. Generado el modelo digital de elevaciones es usual obtener las curvas de niveles representativas con la equidistancia deseada. Se debe destacar que para generar MDE y curvas de nivel representativas no es necesario un software tan específico como para generar la nube de puntos.

Al medir sobre una fotografía siempre existirá un error relacionado con el límite de percepción, con la mínima magnitud que se pueda apreciar. La precisión de la magnitud real restituida dependerá del límite de percepción sobre la imagen y de la escala de la imagen.

En una imagen fotográfica pueden aparecer un gran número de objetos a diferentes escalas. Sin embargo, para una imagen fotográfica se entenderá por escala aquella que corresponde al objeto por tratar en el proceso fotogramétrico.

La escala de una imagen fotográfica depende de dos variables: la separación entre el objeto y el punto de toma y la separación entre el punto de toma y el plano sobre el que se proyecta la imagen:

$$E = \frac{F}{H} \quad (2)$$

Donde:

H es la altura de vuelo.

F la focal de la cámara.

La altura altimétrica es con respecto al nivel medio del mar, para obtener la altura del vuelo se tendría que usar la siguiente ecuación:

$$H = H_0 - h. \quad (3)$$

$H_0$  = altura del plano de referencia o nivel del mar.

$H$  = altura del objeto o elemento.

## 2.9. El riego agrícola

López (2014) anota que la infiltración del suelo se puede expresar de diferentes formas:

- a. Infiltración instantánea o velocidad de infiltración: es la velocidad con que el suelo absorbe el agua en un momento determinado; disminuye con el tiempo hasta alcanzar un valor constante.
- b. Infiltración acumulada: es la lámina que se acumula en el suelo durante un tiempo; aumenta con el tiempo.
- c. Infiltración media: es la velocidad de infiltración durante un tiempo acumulado; disminuye con el tiempo.
- d. Infiltración básica: es la velocidad de infiltración cuando alcanza el valor constante. Se considera que se ha alcanzado cuando la disminución es del 10 % en una hora.

Conforme la humedad penetra en el suelo y satura las capas superiores, su velocidad disminuye debido a la mayor resistencia del suelo y a la reducción en el diámetro de los poros hasta llegar a un valor constante denominado infiltración básica, que se utiliza para compararla con el tiempo de aplicación en el caso de ser un riego a presión.

Según Arguedas (2018) en el caso del riego por gravedad (surcos), que es el que interesa, los flujos pueden llegar de muchas maneras (cuencas, canales, bordes.) cuya característica común es que el agua llega al punto más elevado de la parcela y se desplaza hasta el final infiltrando al mismo tiempo la lámina correspondiente. El riego superficial es el más utilizado. Si bien tiene desventajas importantes, como baja eficiencia en la utilización del agua, necesidad de nivelar el terreno, dificultades para aplicar volúmenes correctos con la frecuencia adecuada y elevada demanda de mano de obra, se espera que continúe siendo el método más comúnmente utilizado.

El riego por tubería flexible es un sistema innovador que se viene incorporando paulatinamente en los últimos años en Costa Rica en las zonas bajo riego. Está siendo usada por pequeños, grandes productores y con múltiples usos, desde el riego por surcos en hortalizas hasta para el transporte de agua y llenado de reservorios en la ganadería. La tubería de polietileno con ventanas se coloca a lo largo de la cabecera del lote de caña por regar y las aberturas en correspondencia con cada uno de los surcos o unidades de riego. Siempre trabajan a sección llena de agua para asegurar un mínimo de presión interna. Relacionado con la distribución del agua en el método de riego tradicional, presenta varias ventajas fundamentalmente en lo que se refiere a uniformidad de riego, eficiencia, reducción de costos de mano de obra, mantenimiento de canales regadores y economía del agua.

#### 2.10. Trazo del riego o receta de riego

Cuando se va a aplicar el riego por superficie se debe contar con un buen trazo para facilitar la distribución del agua en el potrero y así disminuir la pérdida de suelo por la erosión hídrica y posibles daños al cultivo por exceso de humedad.

En suelos Vertisoles se sugiere utilizar el método de riego por melgas cuidando que la pendiente del terreno no pase del 0.5 %, sin embargo, como el pasto tiene una cobertura total del suelo se puede aceptar hasta un 2.0 %, el ancho de la melga es variable y se diseña de acuerdo con los potreros y la longitud de ésta. Un ancho de melga aceptable es de 100 a 200 m, la altura de los bordos de contención es de 35 cm y el tirante hidráulico máximo de 15 cm.

Loría (2020) describe que la ecuación de caudales, se representa de la siguiente forma:

$$Q = C * I * A \cdot 360 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Dónde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup> /s).

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional).

I: Intensidad de la precipitación (mm/h).

A: área tributaria de drenaje (ha).

Este método, a pesar de su fácil aplicación tiene ciertos parámetros que deben escogerse de forma muy cuidadosa, para así lograr resultados más representativos y confiables.

Establece que el coeficiente de escorrentía podría considerarse como lo menos preciso del método racional, dado que su valor se ve influenciado por diversos factores, tales como: la pendiente, la cercanía con el nivel freático, la intensidad de lluvia, el nivel de permeabilidad del suelo, la vegetación, la humedad, la altura de encharcamiento, entre otros. Su valor teórico oscila entre 0 a 1 y a pesar de los diversos factores que influyen en su obtención, también debe considerarse que, entre mayor grado de impermeabilidad, sus valores serán más cercanos a 1, caso contrario, de presentarse mayor grado de infiltración se obtendrán valores de coeficiente menores.

De La Peña y Llerena (2001), citados por López, (2014) proponen aplicar las siguientes recomendaciones generales para obtener un buen manejo del riego por melgas:

- Pendiente: se limita a terrenos con menos de 0.5 %
- Infiltración básica: menores de 7.62cm/hora.
- Ancho de melgas: menores o igual a 20 m.
- Longitud: variable de 50 a 500 m.
- Altura de bordos: 20 cm.
- Tirante máximo del agua dentro de las melgas: 15 cm.

Doorenbos y Pruitt (1977) describen que para establecer un balance hídrico hay que conocer las entradas de agua, que están dadas por la precipitación (P), cuantificada mediante un pluviómetro, el riego excedido, medido volumétricamente y las salidas de agua de un cultivo, que se dan por la evapotranspiración (Etc), que es la pérdida de agua por evaporación desde cualquier superficie evaporante, más la transpiración de la vegetación existente y por el drenaje (D), que es la cantidad de agua que percola a través del suelo por efecto de la gravedad. La evapotranspiración puede ser representada mediante la siguiente ecuación:

$$Etc = P + R - D \quad \text{ecuación (5)}$$

Donde:

P=Precipitación.

R= Pérdidas por evapotranspiración.

D= Agua drenada

El factor (Kc) depende del cultivo y su etapa fenológica y se determinó mediante el balance hídrico.

Según Doorenbos y Pruitt (1977),

$$Etc., Kc = Eto \quad \text{Ecuación (6)}$$

Donde Etc es la evapotranspiración medida por los lisímetros y la Eto es la evapotranspiración potencial calculada mediante el método, que considera la radiación solar, la humedad relativa, la velocidad del viento y la temperatura.

Huamán (2005) describe que en la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano el método de estimación utilizado es el Evaporímetro de cubeta de clase A que permite calcular la Eto (Evapotranspiración).

$$ETo = Kp * ET0. \quad (7)$$

ETo=Evapotranspiración de referencia en mm/día

Kp = Coeficiente de tanque que depende de las Condiciones de cobertura del suelo donde se ubica el tanque, velocidad del viento y humedad relativa.

E0 = Evaporación; en tanque

Clase A en mm/día.

Los lisímetros instalados dan la información necesaria para determinar el requerimiento hídrico de los pastos y el coeficiente de cultivo de los pastos. Transvala con 1.26 de coeficiente hídrico.

### 2.11. Drenajes agrícolas

Según Rojas (2005) por ley constitutiva el SENARA atiende lo relacionado con las aguas subterráneas, el riego de cultivos y el avenamiento, se entiende esto último como la acción de drenar tierras agrícolas para su habilitación y puesta en producción.

El drenaje agrícola es el conjunto de obras que es necesario desarrollar en una parcela cuando hay presencia de exceso de agua sobre la superficie del terreno o dentro del perfil del suelo. Con estas obras se pretende evacuar el excedente de agua en un tiempo adecuado y asegurar un contenido de humedad apropiado para ser absorbido por las raíces de las plantas y conseguir un desarrollo óptimo del cultivo. La máxima lluvia en 10 minutos correspondiente a 41,50 mm (249,00 mm/h) se registró en la estación 76-02 ubicada en Tilarán de Guanacaste el día 19 de agosto de 1981, de acuerdo con los registros del Boletín Meteorológico de Agosto, 1981, estas lluvias fueron de tipo convectivo en los trópicos, siendo que el acumulado para este día correspondió al 50 % de total acumulado del mes. Para esta misma estación se registra la máxima precipitación en 15 minutos, justamente para el mismo día.

La máxima lluvia en 30 minutos correspondiente a 87,40 mm (174,80 mm/h) está registrada para la estación 74-20, ubicada en Liberia Guanacaste el día 04 de Setiembre de 1983, este registro se debió a lluvias de tipo convectivo por la perturbación de la ZCIT.

## CAPÍTULO III

### III. Marco metodológico

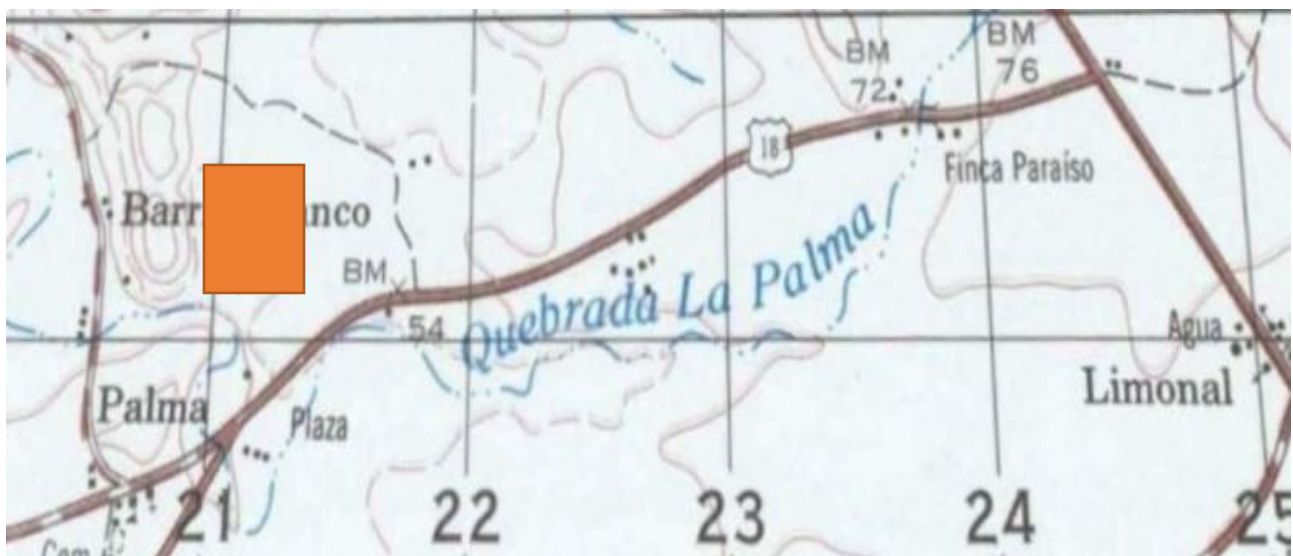
#### 3.1. Tipo de investigación.

El presente diseño tiene carácter descriptivo, la investigación y la recolección de datos se hicieron en campo, donde son cuantitativos, la información recopilada se puede clasificar como una variable porque ésta determinada en su totalidad por el comportamiento de los parámetros por definir y así poder establecer en diseño hidrogeométrico.

#### 3.2. Ubicación del objeto.

El estudio se realizó en la finca Flor Rey, ruta 18 estación 03-00, localizada en la Palma de Abangares Guanacaste, Costa Rica dentro del Distrito de Riego Arenal Tempisque, (DRAT) zona abastecida de agua por el Canal del Sur. (Ver cuadro rojo en la figura siguiente).

Figura 1: Referencia cartográfica de la ubicación del estudio.



Fuente: SNIT, Hoja cartográfica de Abangares.

### 3.3 Caracterización del sitio

El suelo de la parcela es de textura arcillosa, actualmente está en uso como potrero de pastoreo con la especie *angleton sp*, para el mes de julio, se proyecta la siembra de arroz de secano y el próximo verano 2022 se ejecutarán las nivelaciones y movimientos de tierras, basados en esta propuesta de diseño.

Figura 2: Foto aérea del área de estudio.



Fuente: Archivo del Drone, Pablo Flores Cheves. Junio 2021

### 3.4. Propiedades del terreno

El suelo presenta una textura arcillosa, expansiva, medida mediante la prueba al tacto, en húmedo y en seco, directamente en sitio.

Figura 3: Prueba de textura al tacto en seco realizada por el investigador.



Fuente: Fuente: Archivo del Drone, Pablo Flores Cheves. Junio 2021.

En esta imagen se puede observar la característica de suelos arcillosos del suelo en su estado seco, aquí se muestra el suelo desmenuzado y formando pequeñas acumulaciones bastante duras, denominadas terrones de color negro, muy resistentes a la presión con la mano.

Los suelos arcillosos como este en el verano son muy resistentes al corte, lo que origina que el proceso de preparación con los equipos agrícolas sea difícil para la maquinaria agrícola, que tiene que hacer mayor esfuerzo durante el proceso.

Figura 4: Prueba de textura al tacto en húmedo realizada por el investigador.



Fuente: Fuente: Archivo del Drone, Pablo Flores Cheves. Junio 2021

Existen varias formas para identificar fácilmente en laboratorio los suelos arcillosos por su alta plasticidad como lo es la prueba por cápsula de casa grande o el hidrómetro de bouyoucos que consiste en colocar la muestra de suelo. En el hidrómetro indica los gramos de sólidos suspendidos por litro de suspensión a una determinada temperatura, asumiendo una densidad de partícula de 2.65 g/ml y utilizando como medio de suspensión agua más reactivos agregados para dispersar el suelo.

#### 3.4.1. Fuente de abastecimiento de agua

El agua para riego del área del proyecto, en primera instancia, proporcionada por el SENARA, conducida por medio de un ramal procedente del Canal del Sur, en caso de no establecerse, se gestionará una concesión de la quebrada La Palma, que atraviesa un sector de la finca Flor Rey.

El SENARA abastece las demandas de los usuarios por los ramales, midiendo los caudales solicitados por medio de la regleta rectangular o triangular que se coloca en los vertederos de los ramales, que entran a las fincas.

Cuadro 1. Regleta graduada para vertedero triangular utilizada por el SENARA.

Altura H. (En cm)	Q(l/s)
00	0.000
05	0.775
10	4.384
15	12.082
20	24.801
25	43.326
30	68.343
35	100.476
40	140.296
45	188.332
50	245.086
55	311.029
60	386.609
65	472.256
70	568.380
75	675.378
80	793.631
85	923.509
90	1065.369

Fuente: Archivos SENARA 2010.

En este trabajo la textura es una de las propiedades físicas del suelo más influyentes en la capacidad de las plantas, existen varios tipos de textura que determinan variables utilizadas para el diseño hidráulico que se deben considerar, en el anexo 2, se muestran cualidades de los suelos según su textura que son la referencia para cálculos posteriores.

Para los cálculos hidráulicos también se parte de un caudal de abastecimiento definido por el Servicio de riego y avenamiento del proyecto Arenal Tempisque, establecido para áreas de pastos, según reglamento depende del área del terreno consistiendo en 6,02 litros/segundo según el anexo 3.

### 3.5. Procedimiento

#### 3.5.1. Limpieza del terreno

El terreno en su condición natural está dedicado al pastoreo de ganado, con una vegetación de pasto Angleton y otras malezas, para limpiarlo se ejecutó el paso de rastra pesada, para generar uniformidad del suelo y poder evitar efectos diferenciales, que originen variaciones en las lecturas el Drone.

Figura 5: Terreno desmalezado y estaquillado con primer paso de rastra de discos.



Fuente: Archivo del Drone, Pablo Flores Cheves. Junio 2021.

3.5.2. Estaquillado de puntos de lectura, distribuidos en cuadrícula y alineados horizontal y vertical.

Esta operación fue realizada con un vuelo inicial del Drone para mapear que permitió marcar los puntos de la cuadrícula en el terreno a 50 metros entre puntos, posteriormente se hicieron chequeos, las elevaciones con el uso de cinta métrica y del estaquillado verificando la exactitud de las lecturas.

3.5.3. Calibración de GPS del Drone, haciendo giros laterales y verticales para que se familiarice con las características del terreno y la vegetación presente.

3.5.4. Levantamiento de vuelo del Drone para la recolección de datos inició estacionándolo en el punto 1, a una altura de 2 metros para realizar la comprobación de precisión.

3.5.5. Estacionado en el punto 1, se asignó la programación de vuelo del Drone para vuelo en forma horizontal hacia el punto 2,3, 4,5,6,7,8, 9, 10, 11, 12, 13,14, 15 y 16, estacionándolo en cada punto, para tomar y guardar los datos.

3.6. Procesamiento de datos

3.6.1. Los datos guardados en la memoria del Drone son transferidos a la tabla Microsoft Excel en la computadora, se determinan las diferentes elevaciones, con respecto al punto 1, referido como base de explanación con una elevación propuesta de 2m.

3.6.2. Los datos anteriores procesados con el programa CivilCad3D®, permiten la generación de curvas de nivel.

3.6.3. Generación de perfiles y pendientes del terreno

### 3.7. Etapa de cálculos de riego

3.7.1. Cálculos de lámina bruta y neta de riego, considerado un suelo de textura arcillosa, determinada mediante prueba al tacto, tomando las variables CC, PMP, DA, con una profundidad de raíces de 10 cm

3.7.2. Cálculo de caudal de abasto, basado en la longitud y ancho de la melga determinado por la pendiente, caudal demandado, esorrentía.

3.7.3. Cálculo de las alturas de bordes de la melga

### 3.8. Etapa de cálculos del drenaje

3.8.1. Determinación de la precipitación máxima, referenciadas a los meses de octubre en la estación meteorológica más cercana, tomando como referencia los datos aportados por el Instituto Meteorológico Nacional en la zona de Guanacaste

3.8.2. Cálculo del volumen de agua en la melga en los meses de octubre.

De acuerdo con los datos de precipitación obtenidos en el punto anterior y la aplicación de fórmulas matemáticas se define el volumen de agua precipitado en cada terraza, determinando el exceso, que debe ser drenados para evitar los daños por inundación en el cultivo.

3.8.3. Cálculo del canal de drenaje

Esta operación se ejecuta con los datos anteriores procesados con el uso del programa H canales.

3.8.4. Etapa de cálculos de movimientos de suelos

Estos cálculos de volumen de suelos por remover según pendiente de las melgas, se realizarán con el uso de la herramienta del programa de computación Excel y el programa CivilCad3D®, 2019.

### 3.9. Materiales

3.9.1. Drone serie Phantom 4 DJI. (Anexo 1)

3.9.2. Estacas de 0,5 m.

3.9.3. Cinta métrica.

3.6.4. Cronómetro.

3.6.5. Computadora dotada de programas básicos de la ingeniería como el CivilCad3D® 2019, y el H canales y el sketchUp 2019.

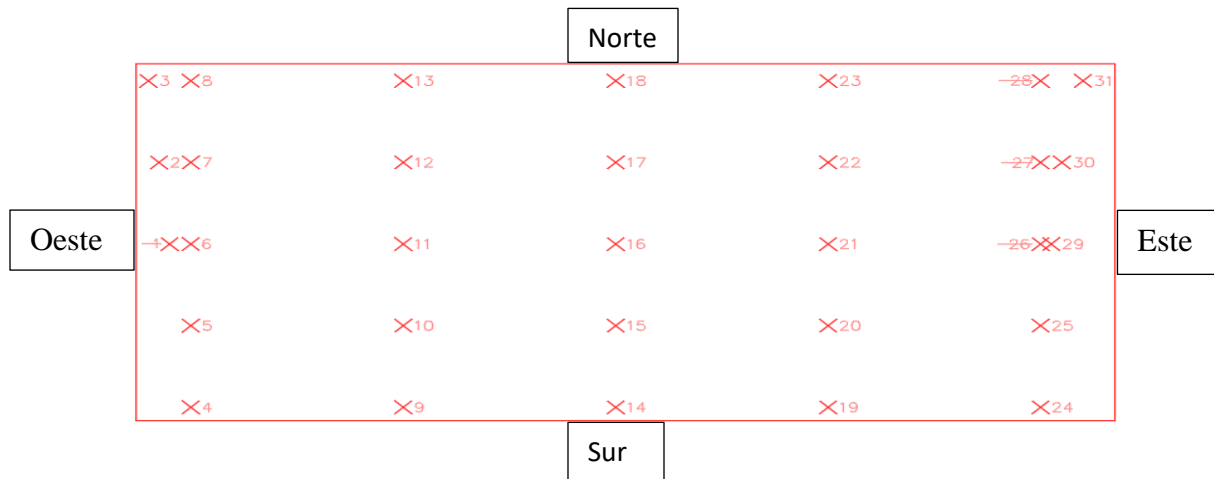
# CAPÍTULO IV

## IV. Resultados

### 4.1. Cuadrícula de puntos en el terreno.

Los trazos para definir los puntos en la cuadrícula en el terreno se marcaron con estacas a cada 50 metros en dirección longitudinal (Oeste dirigidos al Este) y a 25 metros en dirección transversal, de Norte a Sur. Estos puntos estaquillados sirvieron de referencias para que el Drone les recolectara la información de las coordenadas locales definidas en Este (Eje X), Norte Eje Y, junto con las elevaciones del terreno (Eje Z), las cuales procesadas en CivilCad3D® 2019, originaron la siguiente cuadrícula:

Figura 6: Cuadrícula con ubicación de puntos muestreados en el área de estudio.

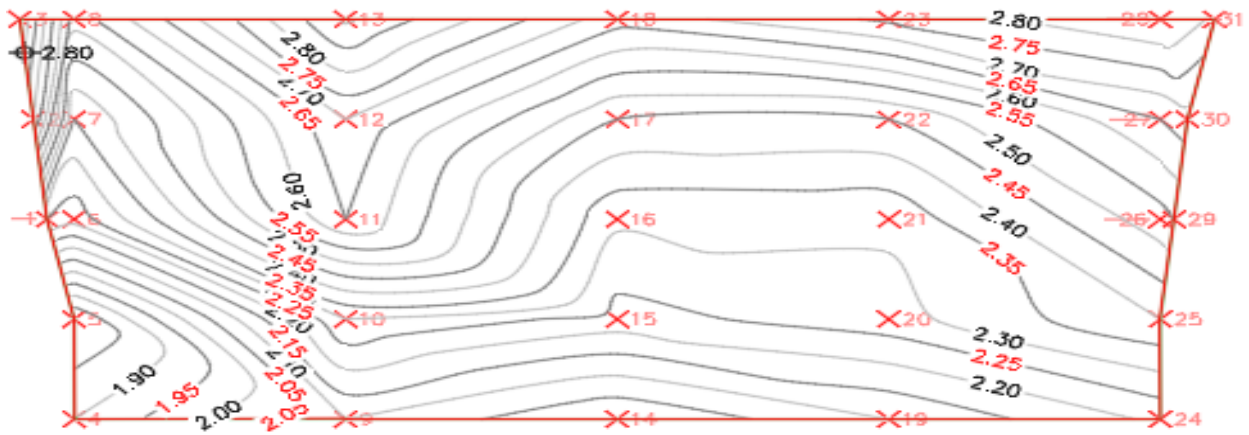


Registro del programa CivilCad3D® 2019.

### 4.2. Curvas de nivel del terreno

Las coordenadas de la tabla anterior fueron procesadas en CivilCad3D®, 2019, importando la nube de puntos, para posteriormente modelar las curvas de nivel de la parcela con el siguiente resultado.

Figura 7: Curvas de nivel generadas con los datos del Drone, creadas con el programa de CivilCad3D®, 2019.

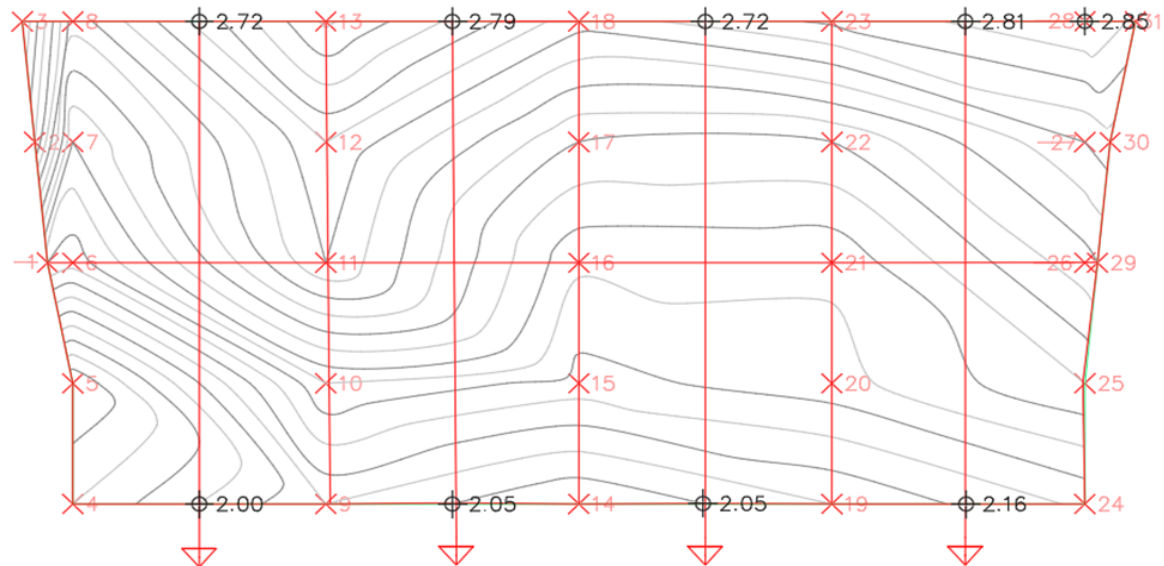


Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

#### 4.3. Direcciones de las pendientes del terreno.

Las direcciones de las pendientes de las Terrazas se establecen de los puntos mayores a los menores como se observa en la siguiente Figura:

Figura 8: Dirección establecida para la explanación y el terraplén para cada sección en el terreno.



Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

Los perfiles resultantes de las Terrazas, representativas de áreas en estudio, partiendo que el terreno natural presenta mayores elevaciones en los costados Oeste y Norte, con menores elevaciones en la parte Este y Sur hacia donde se deben realizar los rellenos de suelo. El promedio de las de estos perfiles, son la base para definir la elevación de la explanación y los movimientos de suelo en cada una de las Terrazas.

Para apreciar una percepción real del terreno, se presentan los puntos que componen cada Terraza en sus extremos, que se requieren para definir perfiles y cálculos en cada una de las Terrazas, con su respectiva ubicación representados de la siguiente forma:

Cuadro 2: Ubicación cardinal y número de puntos limítrofes de las Terrazas.

Terraza	Ubicación	Puntos superiores		Puntos inferiores	
Terraza A	Oeste	3	13	4	9
Terraza B	Intermedio Oeste	13	18	9	14
Terraza C	Intermedio Este	18	23	14	19
Terraza D	Este	23	31	19	24

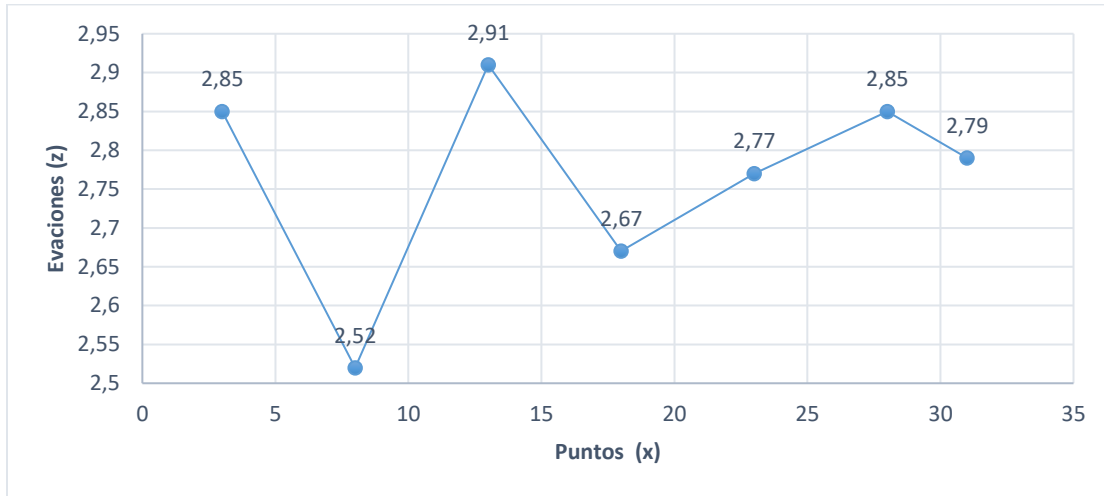
Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

#### 4.4. Relieve longitudinal del terreno

La descripción del relieve topográfico del terreno definido mediante los perfiles longitudinales (De Oeste a Este), generó los siguientes gráficos en cada una de las alineaciones. Estos datos son importantes debido a que longitudinalmente estas alineaciones deben nivelarse a cero grados, contrario a los perfiles transversales (De Norte a Sur), donde sí debe definir una pendiente que se debe calcular, para que permita el drenaje adecuado.

Estos perfiles muestran el comportamiento irregular del terreno en su estado natural, que se deben corregir en el proceso de nivelación, los cuales se describen a continuación:

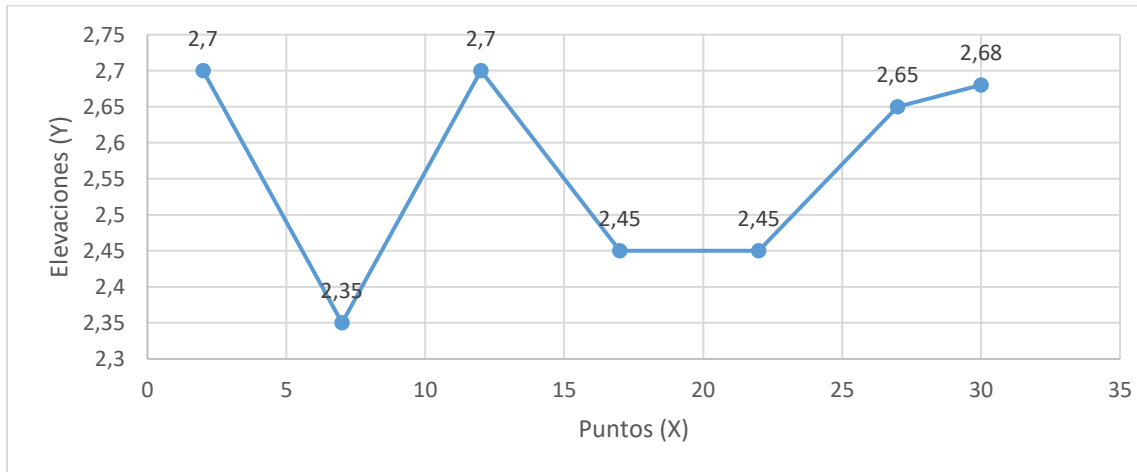
Gráfico 1: Perfil longitudinal Norte del terreno, comprende los puntos 3, 8, 13, 28 y 31. (en metros).



Fuente: Registro del programa Microsoft Excel, 2021.

El perfil gráfico intermedio del sector Norte contempla elevaciones menores que el anterior y se muestra de la siguiente forma:

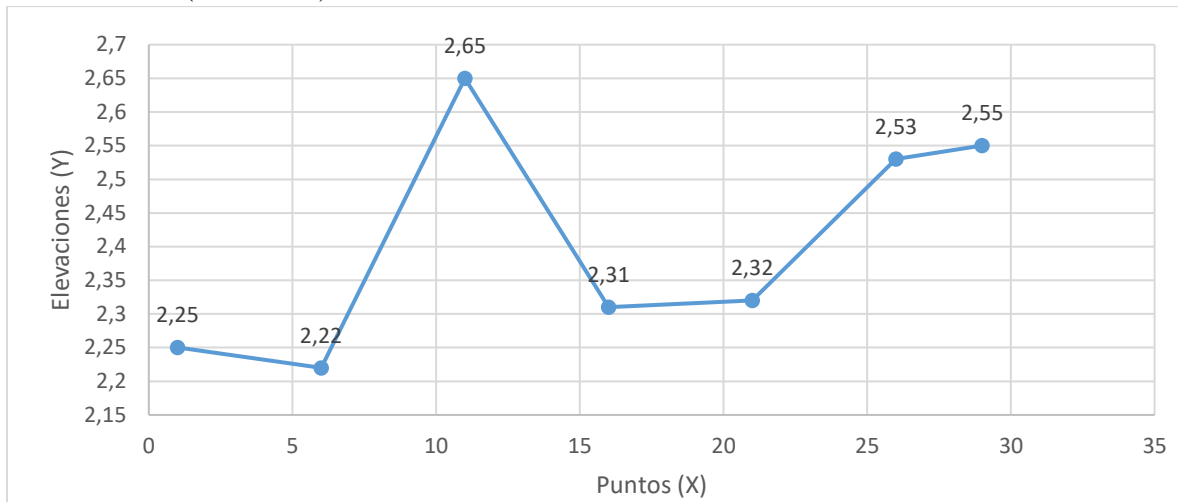
Gráfico 2: Perfil longitudinal intermedio Norte del terreno, comprende los puntos 2, 7, 12, 17, 22 y 27 (en metros).



Fuente: Registro del programa Microsoft Excel, 2021.

El perfil longitudinal central presenta el siguiente comportamiento gráfico:

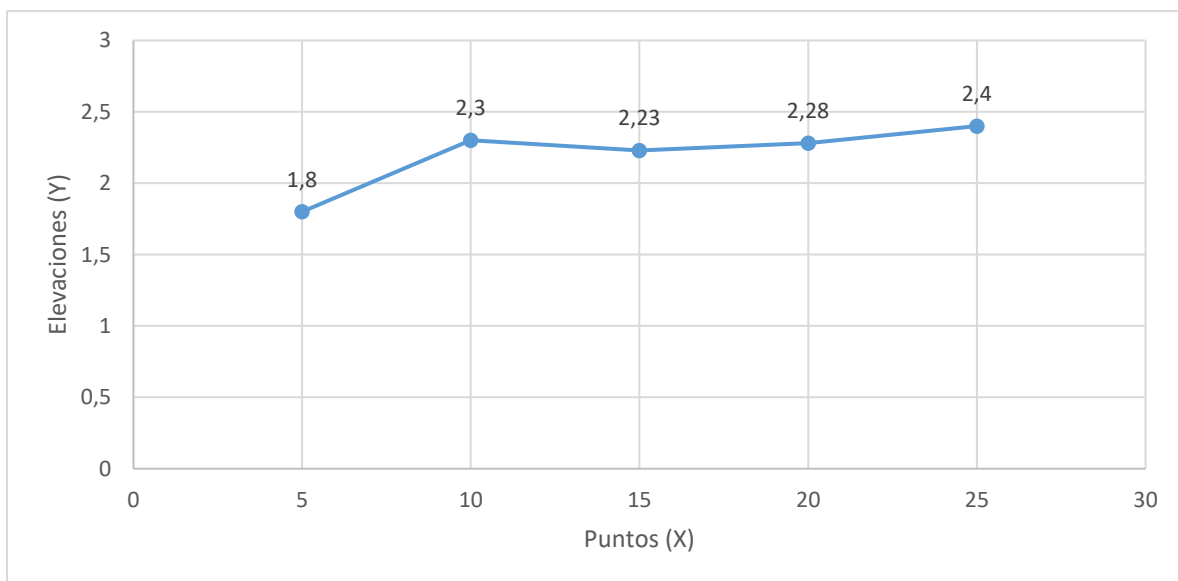
Gráfico 3: Perfil del terreno sector central del terreno, comprende los puntos 1, 6, 11, 16, 21, 26 y 29 (en metros).



Fuente: Registro del programa Microsoft Excel, 2021.

Este perfil intermedio Sur muestra elevaciones inferiores a los anteriores y tiene la característica de ser muy uniforme.

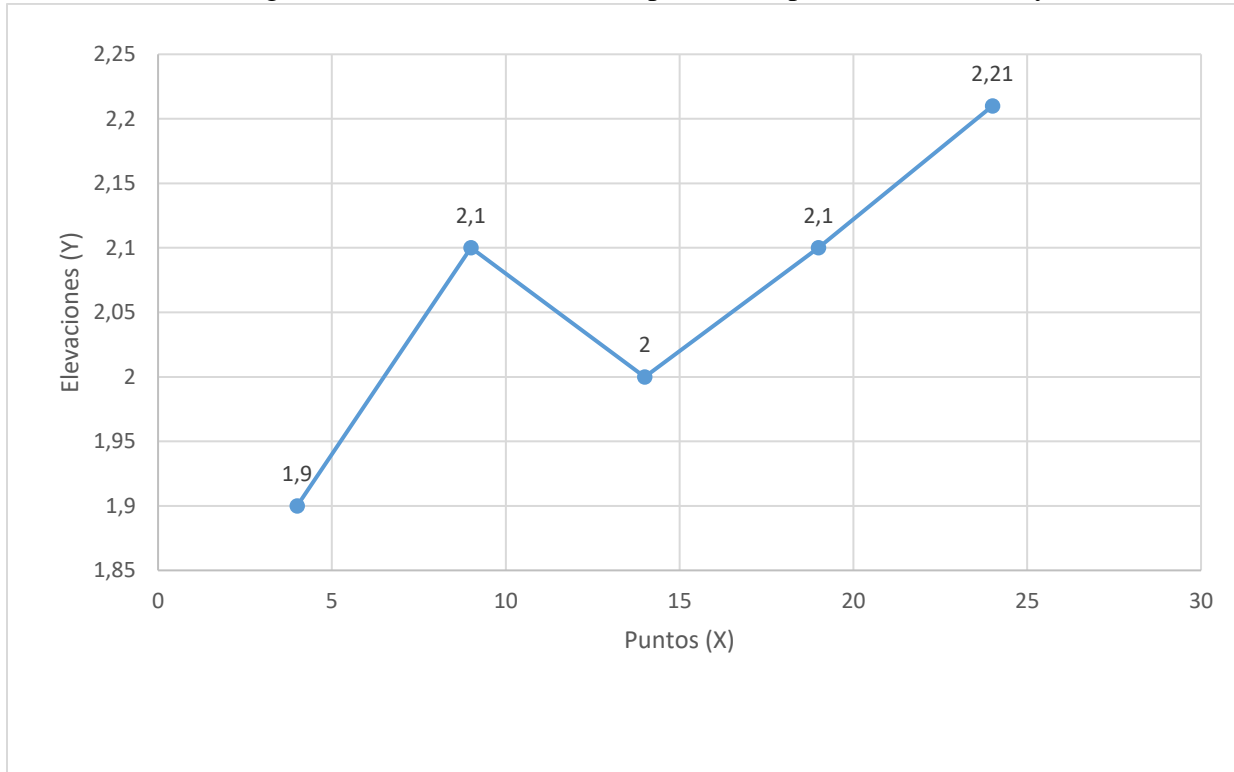
Gráfico 4: Perfil longitudinal intermedio Sur del terreno, comprende los puntos 5, 10, 15, 20 y 25 (En metros).



Fuente: Registro del programa Microsoft Excel, 2021.

El perfil anterior se ubica en la parte Sur del terreno y los puntos que lo conforman son parte del eje (X) del diseño topográfico.

Gráfico 5: Perfil longitudinal Sur del terreno, comprende los puntos 4, 9, 14, 19 y 24 (en metros).



Fuente: Registro del programa Microsoft Excel, 2021.

Este perfil sur muestra la irregularidad de terreno donde se observa descontinuidad en el punto 14.

En general el relieve de este terreno, muestra características muy definidas, que se manifiestan con los desniveles muy homogéneos dentro de cada Terraza, siempre partiendo de los puntos de mayor elevación ubicados en el sector Norte, hacia los puntos de menor elevación en el sector Sur.

Este estudio se basa en analizar los resultados en los siguientes contextos y premisas:

1. División del área del terreno en cuatro secciones definidas como Terrazas, que representan los sectores donde se ejecutan los cortes y rellenos para realizar la nivelación.

2. Cada Terraza es analizada definiendo los perfiles longitudinales presentados anteriormente, que permiten calcular con su promedio en cada una de estas Terrazas la mesa de nivelación, basada en los puntos con elevaciones superiores y menores. Con los perfiles transversales contemplando los puntos laterales y centrales determinan las pendientes que se asignarán al sistema de riego por gravedad.

3. Con los datos de los perfiles, se define la máxima pendiente que se le puede asignar al programa CivilCad3D®, para crear la explanación y genere en forma automática los volúmenes de suelo que se deben movilizar, orientando las direcciones para que el tractorista durante la nivelación pueda conducir siguiendo lo marcado por el display que va instalado en el panel de control, activando las electroválvulas del sistema hidráulico que se encargan de levantar y bajar la rufa, donde se tiene que movilizar suelo a las elevaciones requerida.

#### 4.5. Propiedades de la Terraza A

##### 4.5.1 Coordenadas de la Terraza A

Esta Terraza corresponde al sector Oeste del terreno y está representado por los puntos del uno al trece, los puntos del 4 al 13 forman una figura rectangular. En la parte superior izquierda se ubican los puntos del 1 al 3 formando un pequeño triángulo y es en este sector donde inicia el canal de abastecimiento de agua, las coordenadas y elevaciones de los puntos reportadas por el Drone se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro 3: Puntos con coordenadas locales, elevaciones y orientaciones que delimitan la Terraza A (En metros).

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
1	7,5	50,0	2,25
2	5,0	75,0	2,70
3	0,0	100,0	2,85
4	10,0	0,0	1,90
5	10,0	25,0	1,80
6	10,0	50,0	2,22
7	10,0	75,0	2,35
8	10,0	100,0	2,52
9	60,0	0,0	2,10
10	60,0	25,0	2,30
11	60,0	50,0	2,65
12	60,0	75,0	2,70
13	60,0	100,0	2,91
Promedio	28,86	57,67	2,40

Fuente: Datos generados por el Drone en vuelo programado. Junio 2021.

La longitud de esta primera sección (Terraza A) mide 50 metros de ancho por 100 metros de largo, con área de 5437. 50 m<sup>2</sup> y se ubica en el sector Oeste del terreno. Los puntos y coordenadas se procesaron en hoja electrónica Microsoft Excel, las coordenadas y elevaciones, que corresponde a la curva de nivel base y la ubicación central del punto de nivelación, que se usó en el programa CivilCad3D® 2019 para generar los volúmenes de suelo del desmonte y el terraplén en la nivelación a cero grados de pendiente en los perfiles longitudinales (De Oeste a Este). De cada una de las secciones o Terrazas que delimitarán las áreas en el terreno.

Como se puede observar en el cuadro anterior el promedio de coordenadas de (X) y (Y) junto con el promedio de las elevaciones, son la representación de producto estadístico del punto central en esta Terraza.

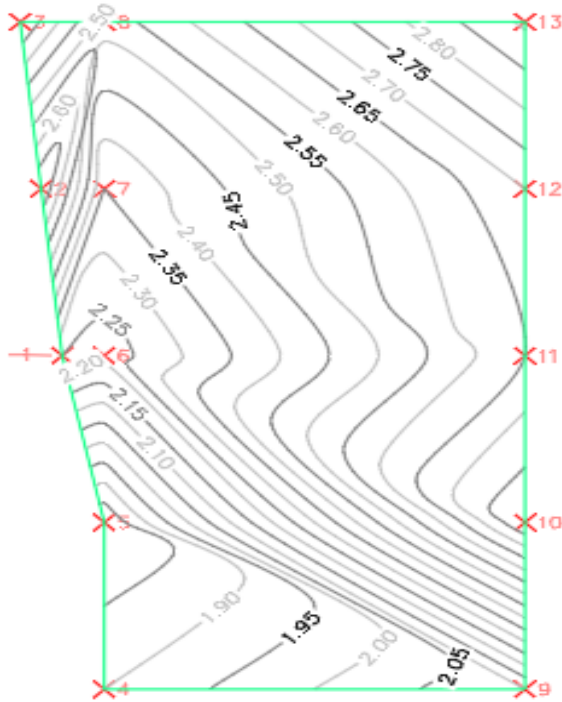
#### 4.5.2. Curvas de nivel y dirección de escorrentía de la Terraza A

Las curvas de nivel también son importantes para la representación de la superficie porque permiten visualizar de manera simultánea las áreas planas y empinadas (distancia entre las curvas de nivel), así como crestas y valles (polilíneas convergentes y divergentes).

Una curva de nivel es el trazo que la superficie del terreno marca sobre un plano horizontal que la interseca, formando un sistema de coordenadas en el terreno, el sistema de coordenadas existente se define por un par o tres ejes ortogonales de igual escala. Cada punto de la coordenada contiene un valor especificado e los ejes (X, Y, Z). Estos ejes se encuentran definidos por un vector directo y por el origen de las coordenadas. Existen varios sistemas de coordenadas como lo son las polares, que cuenta solamente con dos ejes por lo que se trata de un sistema de coordenadas bidimensional, en el mismo cada punto, posición u objeto ubicado en el plano se determina por un ángulo y una distancia específica a una referencia. Este estudio se basó en el sistema de coordenadas locales partiendo y ubicando el eje (X) longitudinal hacia el sur y el (Y) hacia Norte, el eje (Z) es el indicador de la elevación con respecto al plano definido de 2 metros de altura.

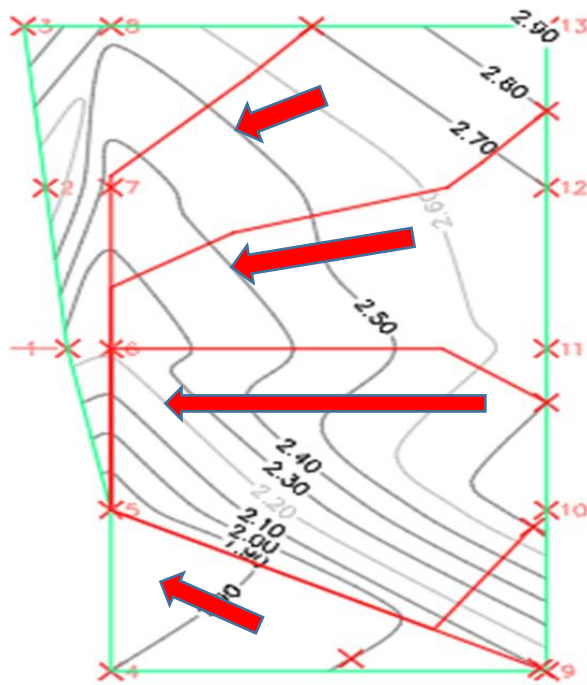
Estos datos procesados mediante el programa CivilCad3D®, 2019 originaron la parcela (Terraza A), con las siguientes curvas de nivel:

Figura 9: Curvas de nivel de la Terraza A.  
(Cada 0.05 m).



Fuente: Registro del programa CivilCad3D®.  
2019.

Figura 10: Dirección de la escorrentía natural en la Terraza A.



Fuente: Registro del programa CivilCad3D®.  
2019

Observando la Figura 10 el desplazamiento de la gota, según el programa CivilCad3D® 2019. Las propiedades generales de esta Terraza, aportadas por el programa CivilCad3D® 2019, en la ventana de estadística se muestra en la Figura posterior:

#### 4.5.3. Resumen estadístico de CivilCad3D® 2019 de la Terraza A.

El procesamiento de los datos el programa CivilCad3D® 2019 generó el siguiente resumen de propiedades:

Figura 11: Propiedades generales naturales del terreno de la Terraza A. (En metros)

Estadísticas	Valor
<b>General</b>	
Número de revisión	0
Número de puntos	13
Coordenada X mínima	0.000m
Coordenada Y mínima	0.000m
Coordenada X máxima	60.000m
Coordenada Y máxima	100.000m
Elevación mínima	1.800m
Elevación máxima	2.910m
Elevación media	2.401m
<b>Extendida</b>	
Área de superficie 2D	5437.50metros cuadrados
Área de superficie 3D	5438.51metros cuadrados
Pendiente/talud mínimos	0.57%
Pendiente/talud máximos	4.85%
Pendiente/talud medios	1.58%
<b>TIN</b>	
Número de triángulos	13

Registro del programa CivilCad3D®, 2019

#### 4.5.4. Tabulación de datos y perfiles de la Terraza A

Como se observa en la Figura número 10 en esta Terraza la escorrentía natural drena hacia el Este, el estudio propone que la nivelación debe redirigir la escorrentía hacia el sector Sur (puntos 4 y 9), basado en el promedio de elevaciones del perfil transversal superior calculado en el siguiente cuadro con los puntos 3, 8 y 9.

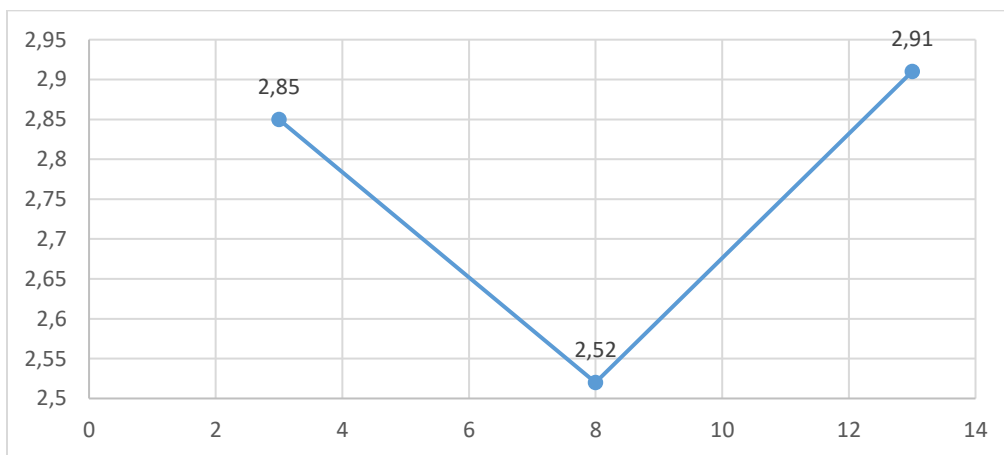
Cuadro 4: Puntos con elevaciones del perfil Norte que delimitan la Terraza A. (En metros).

Punto	Elevación	Desnivel
3	2,85	0
8	2,52	-0,33
13	2,91	0,39
Elevación media	2,76	0,36

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos Del Drone. Junio 2021.

El terreno en su representación natural muestra irregularidad, esta Terraza tiene la característica que no presenta figura geométrica rectangular, en el sector Norte está representada por tres puntos (3, 8 y 13), mientras que en el sector Sur se delimita únicamente por dos puntos, en su condición natural, las direcciones de la escorrentía se desplazan hacia el sector Este, lo que determina que deben realizarse movimientos de suelo principalmente del punto trece hacia el 8 como se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico 6: Perfil Norte con puntos y elevaciones de la Terraza A. (En metros).

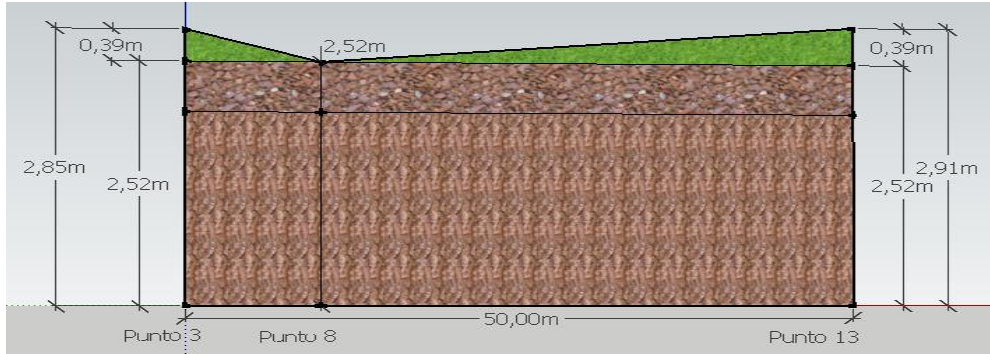


Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Proyectando este perfil gráfico en una vista frontal en un dibujo con el programa sketchup se tiene lo siguiente:

En la Terraza A se presenta tres puntos de referencia en la parte más alta (Sector Norte), se puede observar que el punto 8 es el de menor elevación con 2,52 m. Durante el proceso de nivelación estos puntos deben quedar con pendientes de 0.00 grados.

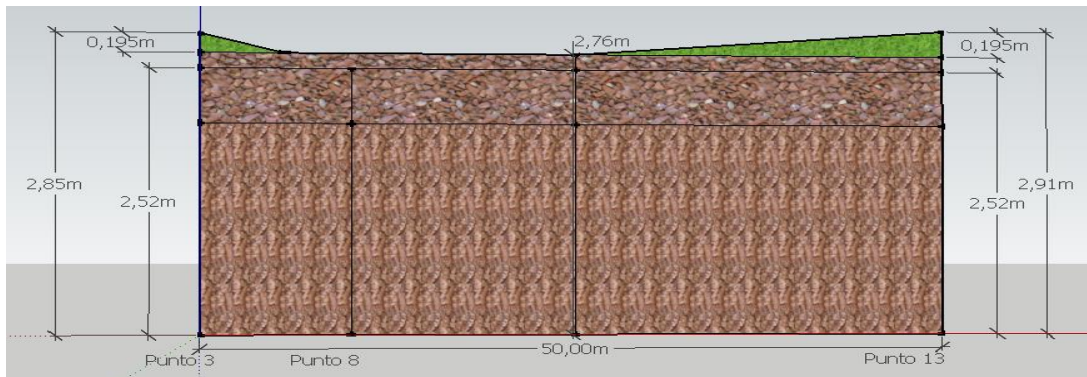
Figura 12: Corte del perfil transversal natural superior Norte en la Terraza A



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2021. Sin escala.

Según esta figura se puede confirmar que el movimiento de suelo se desplaza del punto 13 hacia el punto 8 y 3, generando una elevación promedio de 2,88 m como se observa en la figura siguiente:

Figura 13: Corte de la nivelación longitudinal Norte del del terreno en la Terraza A



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2021. Sin escala.

Para generar los cortes que se deben realizar se estudian estos perfiles en forma unilateral y conjunta, determinando los puntos del terreno donde se realizan cortes y las secciones en la melga, determinando dónde se debe cortar suelo y en qué sectores se debe rellenar.

En esta misma Terraza se tienen los puntos más bajos en el sector Sur correspondientes a los puntos 4 y 9 respectivamente, representados en el cuadro siguiente:

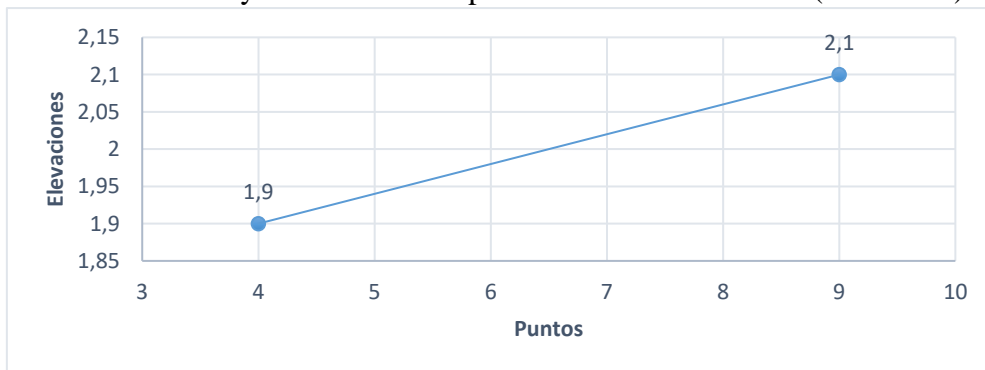
Cuadro 5: Puntos con elevaciones del perfil Sur que delimitan la Terraza A. (En metros).

Puntos	Elevación	Desnivel
4	1,90	00
9	2,10	0,10
Promedio	2,00	0,05

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos Del Drone. Junio 2021.

Este sector está representado únicamente por dos puntos y originan el siguiente perfil gráfico:

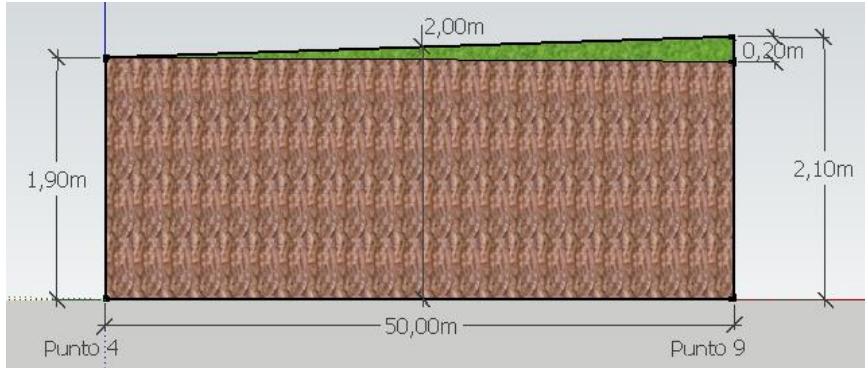
Gráfico 7: Puntos y elevaciones del perfil Sur de la Terraza A. (En metros)



Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

El perfil longitudinal Sur de esta Terraza es muy uniforme con muy poco desnivel, lo que produce que los movimientos de suelo, para llevarlo a cero grados es muy bajo.

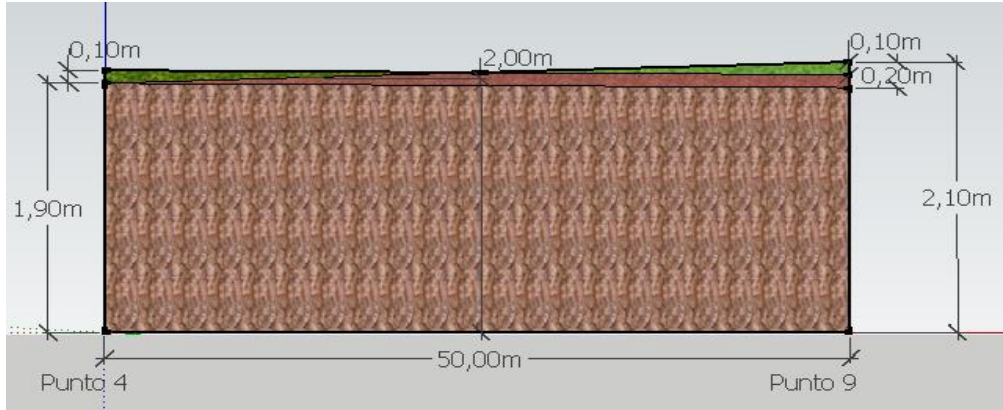
Figura 14: Corte del perfil transversal natural Sur en la Terraza A. (En metros)



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2021. Sin escala.

Cuando se nivele esta sección a cero grados se observará la siguiente forma:

Figura 15: Corte del perfil longitudinal Sur Terraza A, nivelado a cero grados. (En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2021. Sin escala.

#### 4.5.5. Nivelación transversal de la Terraza A

Concluida la nivelación longitudinal se procede a la nivelación transversal definitiva con la asignación de un grado de pendiente, esta se basa en el perfil longitudinal de la Terraza, considerando las elevaciones promedio derivadas de la nivelación transversal en la Terraza, estas son las siguientes:

Cuadro 6: Elevaciones promedio de los perfiles norte y sur que delimitan la Terraza A. (En metros).

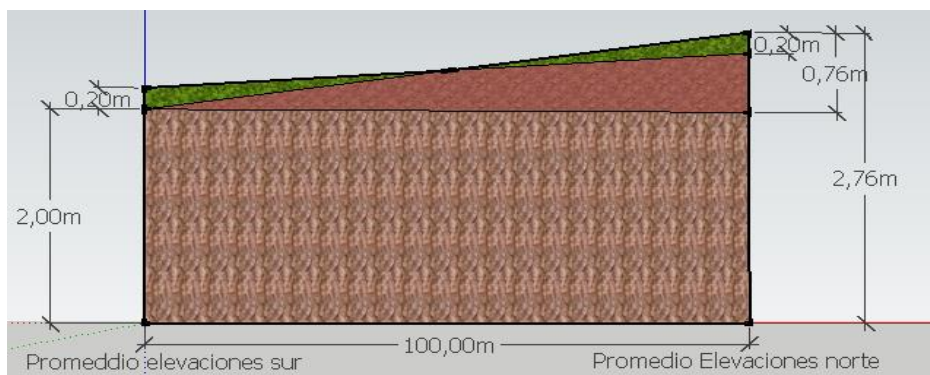
Puntos y ubicación	Promedio de elevación
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Norte	2,76
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Sur	2,00
Desnivel	0,76

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Este trabajo propone que la nivelación para el pasto transvala no debe establecerse a cero grados, lo que origina que estos puntos se deba trasladar suelo de la elevación mayor a la menor, para generar una pendiente y evitar que la precipitación de la época de invierno cause inundaciones progresivas y no dañe el crecimiento óptimo del pasto. En esta Terraza se selecciona la curva posterior que corresponde a 2.45 de elevación quedando lo superior como área de corte (Desmonte) y lo inferior como área de relleno, terraplén.

Se propone que el eje central de la nivelación sea la media entre la altura máxima y la mínima en una distancia de la Terraza de 100 metros, se tendría el siguiente corte:

Figura 16: Corte transversal de nivelación, con pendiente de 0,40% de la Terraza A.



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2021. Sin escala.

Por sentido común, cuando en los suelos se construyen melgas y Terrazas para diferentes actividades productivas, las direcciones de las pendientes asignadas deben establecerse como lo determine el desnivel natural, en este terreno las direcciones naturales son de Norte a Sur y corresponden al perfil transversal de la nivelación en esta Terraza.

El margen de pendiente para nivelar en esta Terraza es de 0,88 m en 100 m de largo, correspondiente a un 0,88 %, estos datos permiten definir el porcentaje de pendiente para esta Terraza, estableciendo 0,4 % que permite evitar la erosión y la inundación en periodos muy lluviosos.

#### 4.6. Propiedades de la Terraza B

##### 4.6.1. Coordenadas de la Terraza B.

Esta Terraza tiene una longitud de 50 metros de ancho por 100 metros de longitud, comprende un área de 5000 m<sup>2</sup>, y se ubica en el sector intermedio Oeste del terreno, está conformada por los siguientes puntos, descritos en el siguiente cuadro:

Cuadro 7: Puntos con coordenadas locales, elevaciones y orientaciones que conforman la Terraza B. (En metros).

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
9	60,00	0,00	2,10
10	60,00	25,00	2,80
11	60,00	50,00	2,65
12	60,00	75,00	2,70
13	60,00	100,00	2,91
14	110,00	0,00	2,00
15	110,00	25,00	2,23
16	110,00	50,00	2,31
17	110,00	75,00	2,45
18	110,00	100,00	2,67
Promedios	85	50	2.48

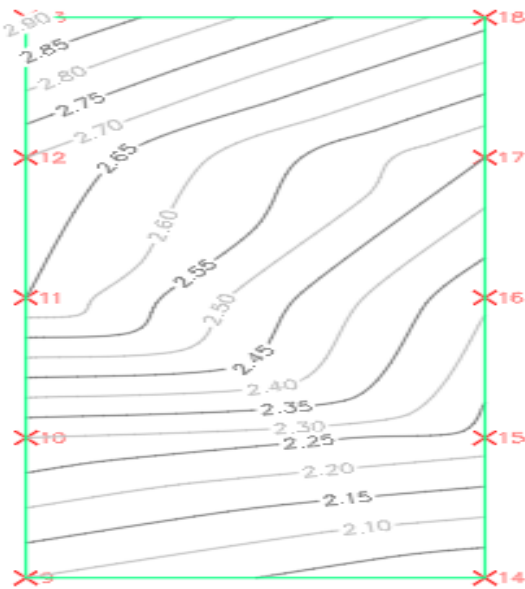
Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

#### 4.6.2. Curvas de nivel y dirección de escorrentía de la Terraza B

Este grupo de puntos de esta Terraza procesados en el programa CivilCad3D®, 2019 originaron las siguientes curvas de nivel y dirección de natural de la escorrentía.

Figura 17: Curvas de nivel de la Terraza B.

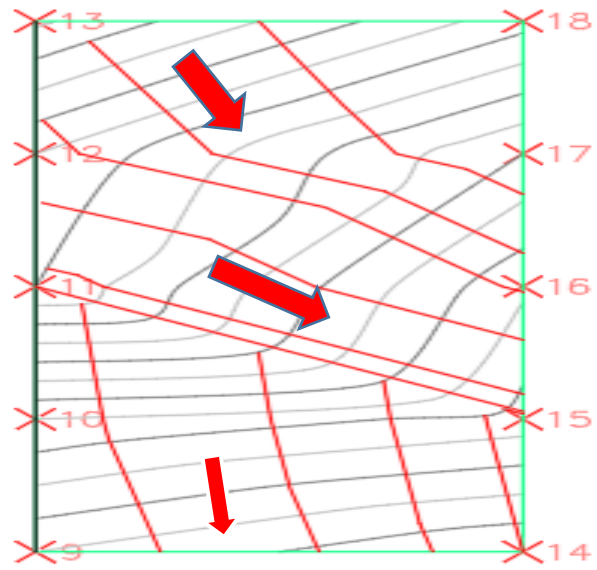
natural. (Cada 0.05 m)



Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

Figura 18: Dirección de la escorrentía

en la Terraza B.



Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

#### 4.6.3. Resumen estadístico de CivilCad3D® 2019 de la Terraza B.

Las propiedades estadísticas obtenidas mediante el procesamiento de los datos en el programa CivilCad3D®, 2019 se aprecian en la siguiente Figura.

Figura 19: Propiedades generales de la Terraza B, en su condición natural. (En metros).

Estadísticas	Valor
<b>General</b>	
Número de revisión	0
Número de puntos	10
Coordenada X mínima	60.000m
Coordenada Y mínima	0.000m
Coordenada X máxima	110.000m
Coordenada Y máxima	100.000m
Elevación mínima	2.000m
Elevación máxima	2.910m
Elevación media	2.442m
<b>Extendida</b>	
Área de superficie 2D	5000.00metros cuadrados
Área de superficie 3D	5000.22metros cuadrados
Pendiente/talud mínimos	0.54%
Pendiente/talud máximos	1.41%
Pendiente/talud medios	0.91%
<b>TIN</b>	

Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

#### 4.7.4 Tabulación de datos y perfiles de la Terraza B

Tabulando los puntos y elevaciones de esta Terraza determinamos los perfiles longitudinales Norte y Sur con las siguientes elevaciones y puntos.

Cuadro 8: Puntos con elevaciones del perfil Norte que delimitan la Terraza B. (En metros).

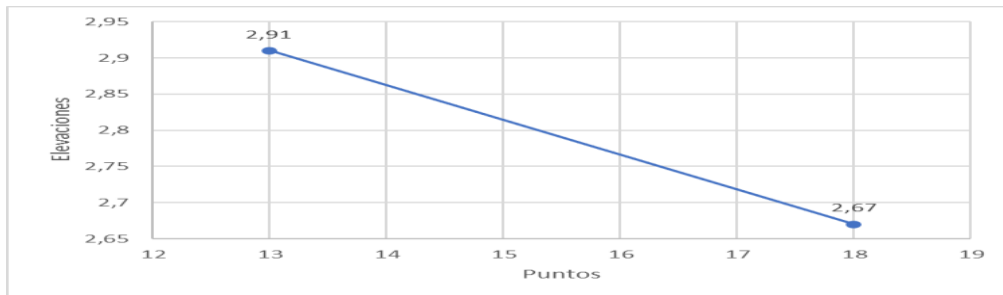
Punto	Elevación	Desnivel
13	2,91	0,00
18	2,67	0,24
Promedios	2,79	0,12

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos

del Drone. Junio 2021.

Los datos del cuadro anterior se muestran en el siguiente gráfico:

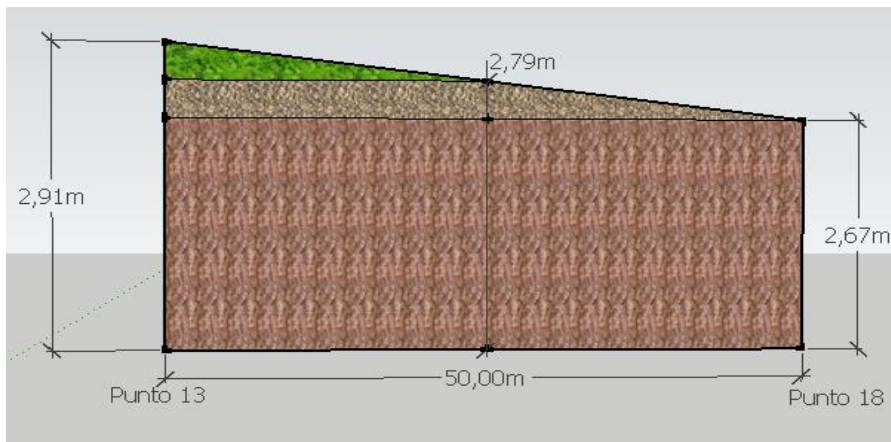
Gráfico 8. Representación de puntos y elevaciones del perfil Norte Terraza B



Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Este perfil Norte representado en un corte del terreno muestra el siguiente comportamiento:

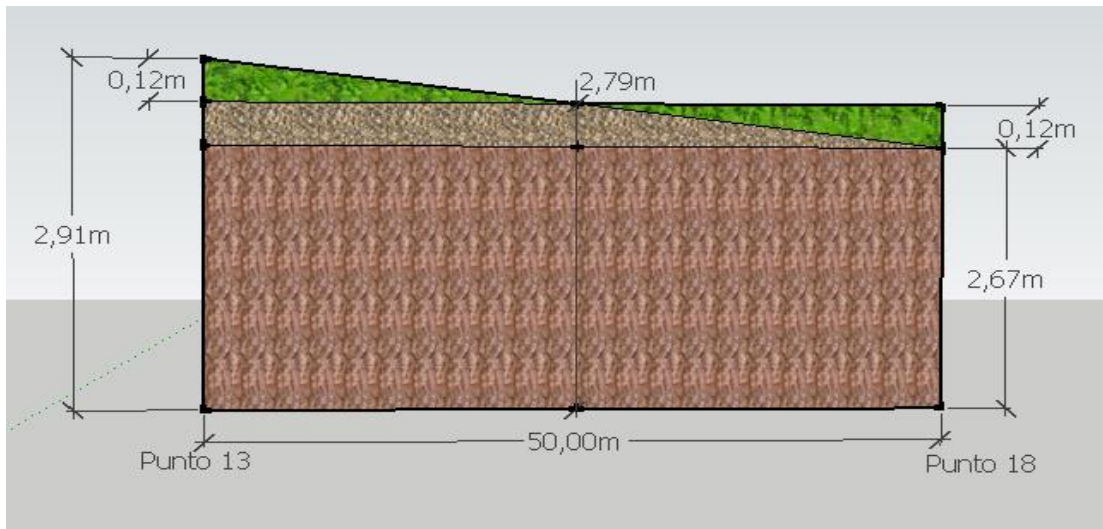
Figura 20: Corte longitudinal del perfil Norte Terraza B. (En metros)



Registro del programa sketchup con datos de CivilCad3D® 2019. Sin escala.

El sector Norte de la Terraza B presenta desnivel, según la figura anterior, se deben hacer movimientos de suelo del punto 13 al 18, para que se genere en ese sector el siguiente perfil:

Figura 21: Corte del perfil longitudinal Norte de la Terraza B, nivelado a cero grados (En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

El sector Sur de esta Terraza está delimitado por los puntos 9 y 14, las elevaciones son muy uniformes con una variación mínima, que se muestran en el siguiente cuadro:

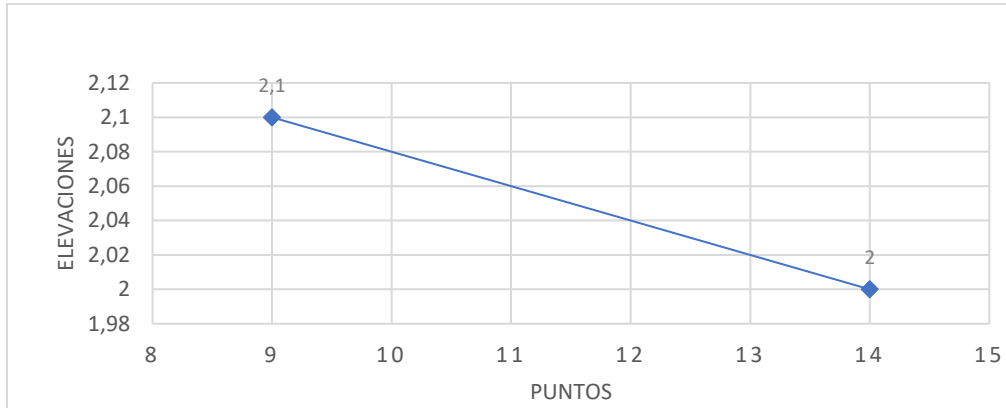
Cuadro 9: Puntos con elevaciones del perfil Sur que delimitan la Terraza B. (En metros).

Puntos	Elevación	Desnivel
9	2,10	0,00
14	2,00	-0,10
Promedio	2,05	0,05

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

La representación gráfica del perfil sur de la Terraza B es la siguiente:

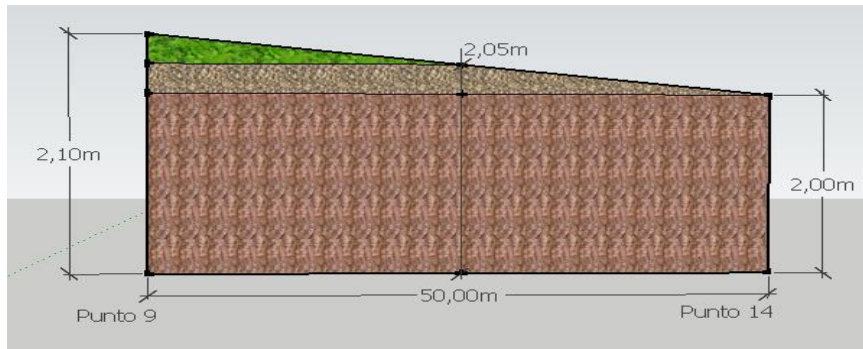
Gráfico 9. Representación de puntos y elevaciones del perfil Sur de la Terraza B.



Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

El perfil gráfico anterior representado mediante un corte muestra el terreno natural de la siguiente forma:

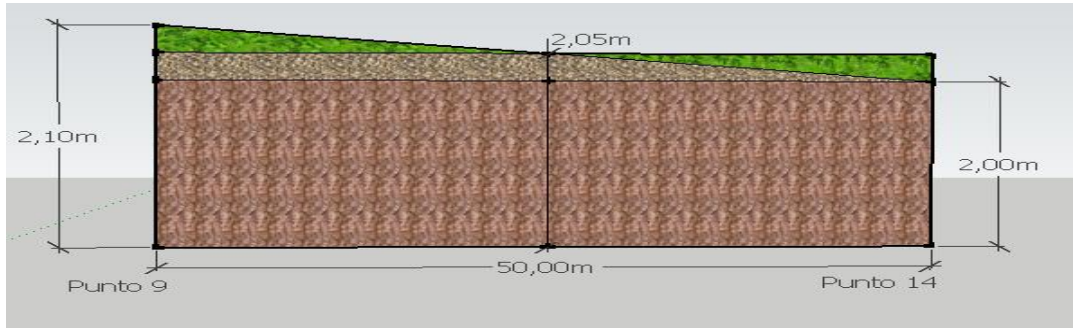
Figura 22: Corte longitudinal del perfil Sur Terraza B. (En metros)



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

El perfil Sur de esta Terraza presenta en sus puntos una variación de 0,1 metro que la se puede considerar muy baja, pero para efectos de la nivelación longitudinal, es importante debido a que debe modificarse a cero grados, mostrada en el corte siguiente:

Figura 23: Corte del perfil longitudinal Sur de la Terraza B, nivelado a cero grados. (En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

#### 4.6.5 Nivelación de la Terraza B

Con los promedios de las elevaciones de los puntos que conforman el perfil norte y sur de la Terraza B, se determina el perfil transversal, que es la base para definir la nivelación en la Terraza.

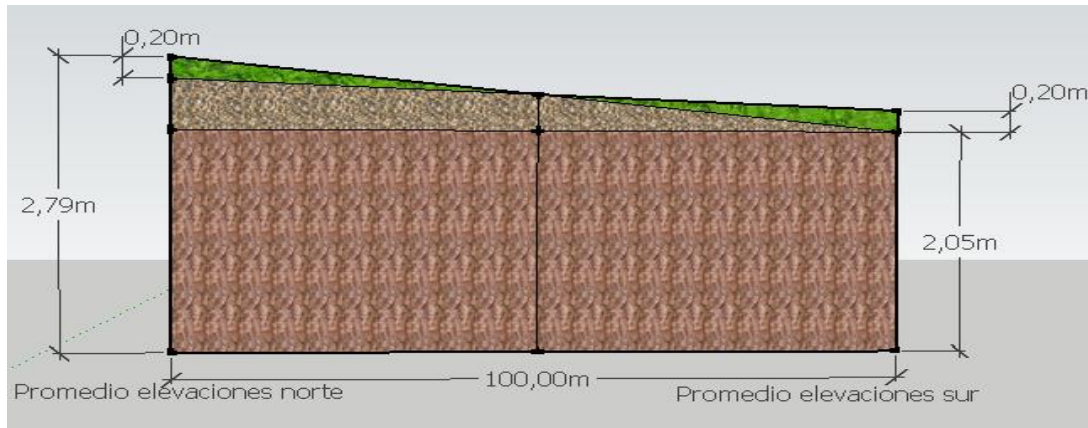
Cuadro 10: Elevaciones promedio de los perfiles Norte y Sur que delimitan la Terraza B.

(En metros).

Puntos y ubicación	Promedio de elevación
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Norte	2,79
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Sur	2,05
Desnivel	0,74

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Figura 24: Corte transversal de nivelación, con pendiente de 0,40 % de la Terraza B.



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

#### 4.7. Propiedades de la Terraza C.

Esta tercera sección rectangular corresponde a la Terraza C, tiene una longitud de 50 metros de ancho por 100 metros de longitud, comprende un área de 5000 m<sup>2</sup>, y se ubica en el sector intermedio Este del terreno, comprende los puntos del 14 al 23 con las siguientes coordenadas y elevaciones.

##### 4.7.1. Coordenadas de la Terraza C.

Cuadro 11: Coordenadas locales y elevaciones medidas de la Terraza C.

(En metros)

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
14	110,00	0,00	2,00
15	110,00	25,00	2,23
16	110,00	50,00	2,31
17	110,00	75,00	2,45
18	110,00	100,00	2,67
19	160,00	0,00	2,10
20	160,00	25,00	2,28
21	160,00	50,00	2,31
22	160,00	75,00	2,45
23	160,00	100,00	2,77
Promedios	85	50	2,35

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

##### 4.7.2. Curvas de nivel y dirección de la ecorrentía natural de la Terraza C.

El procesamiento de estos datos por el programa CivilCad3D®, 2019 originó las siguientes curvas de nivel, y dirección natural de la escorrentía.

Figura 25: Curvas de nivel de la Terraza C. (Cada 0.05 m)

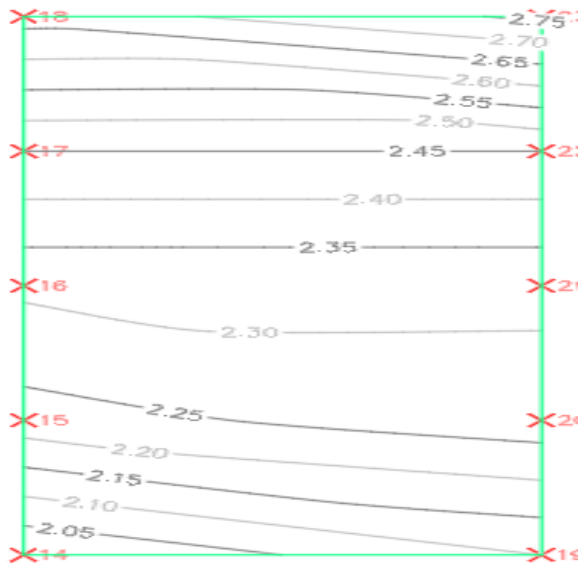
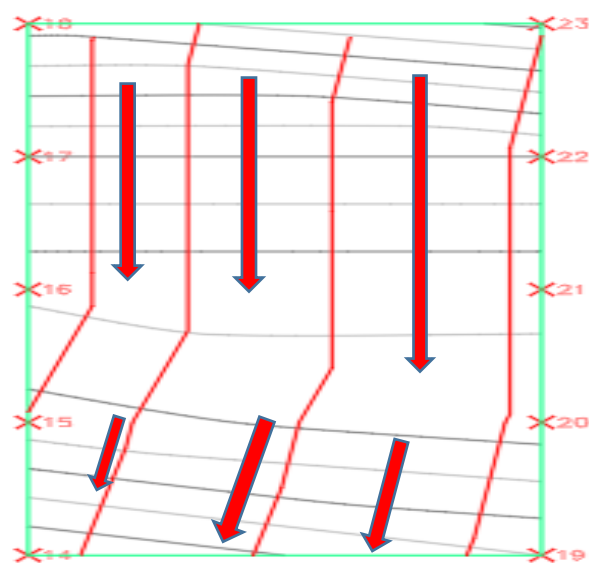


Figura 26: Dirección de la escorrentía en la Terraza C.



Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

Propiedades generales naturales del terreno de la Terraza A. (En metros)

#### 4.7.3. Resumen estadístico de CivilCad3D® 2019 de la Terraza C.

Los datos topográficos de los puntos de esta Terraza procesados por el programa CivilCad3D®, 2019.civil estableció el siguiente resumen de propiedades:

Figura 27: Propiedades naturales del terreno, Terraza C. (En metros).

Estadísticas	Valor
<b>General</b>	
Número de revisión	0
Número de puntos	10
Coordenada X mínima	110.000m
Coordenada Y mínima	0.000m
Coordenada X máxima	160.000m
Coordenada Y máxima	100.000m
Elevación mínima	2.000m
Elevación máxima	2.760m
Elevación media	2.350m
<b>Extendida</b>	
Área de superficie 2D	5000.00metros cuadrados
Área de superficie 3D	5000.14metros cuadrados
Pendiente/talud mínimos	0.12%
Pendiente/talud máximos	1.25%
Pendiente/talud medios	0.67%
<b>TIN</b>	

Fuente: Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

#### 4.7.4. Tabulación de datos y perfiles de la Terraza C

La Terraza C en su costado Norte es muy uniforme con un margen de variación en las elevaciones muy bajo representadas en el siguiente cuadro:

Cuadro 12: Puntos con elevaciones del perfil Norte

que delimitan la Terraza C. (En metros).

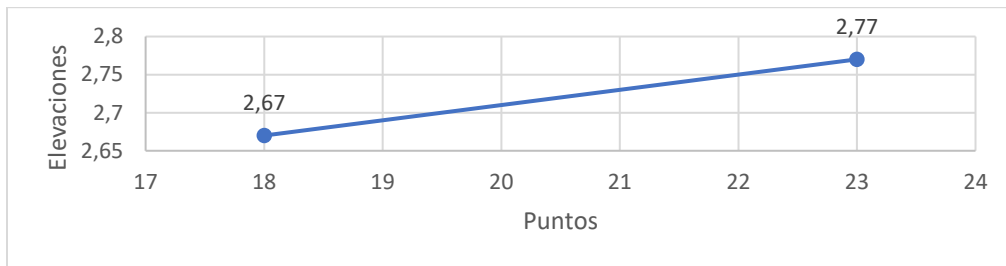
Punto	Elevación	Desnivel
18	2.67	00
23	2.77	10
Promedio	2.72	0.05

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del

Drone. Junio 2021.

Estas elevaciones y puntos los podemos observar en el siguiente perfil gráfico:

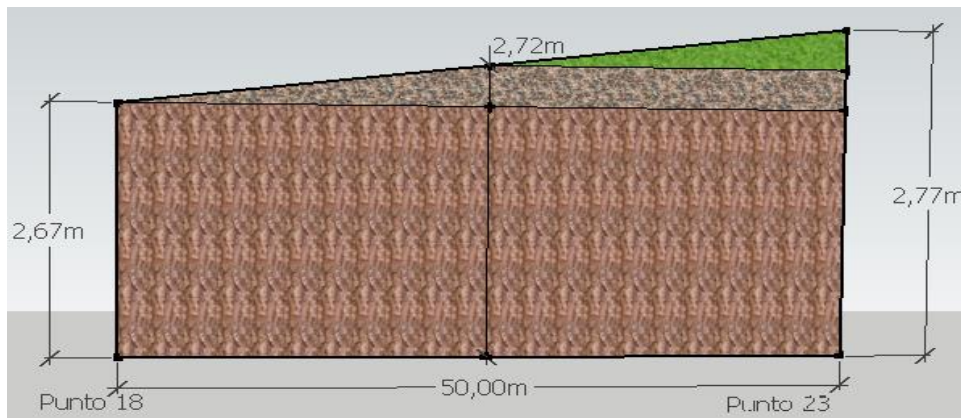
Gráfico 10; Representación de puntos y elevaciones del perfil Norte Terraza C.



Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Este perfil de este gráfico se observa en la siguiente corte:

Figura 28: Corte longitudinal del perfil Norte de la Terraza C. (En metros)

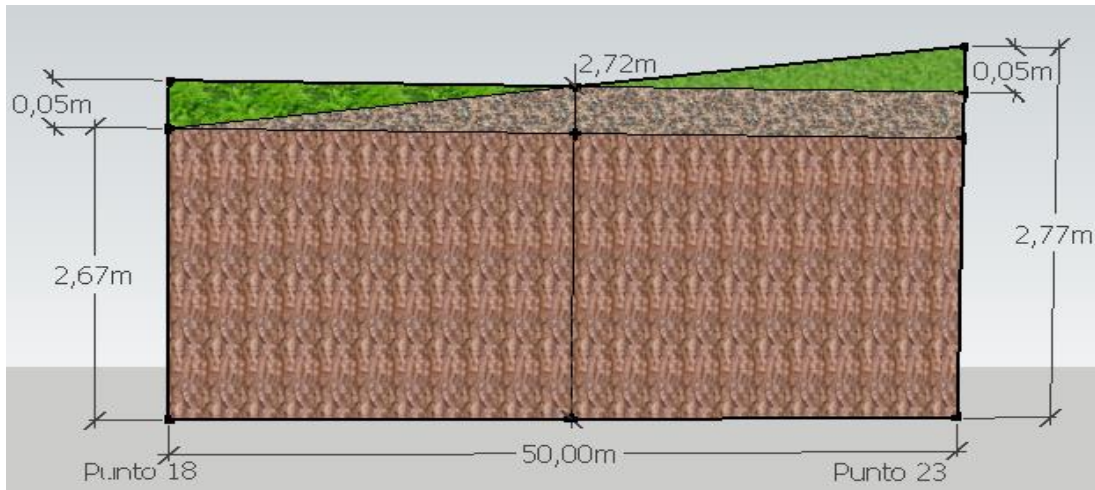


Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Procediendo con la nivelación longitudinal Norte el corte anterior se define de la siguiente forma:

Figura 29: Corte del perfil longitudinal Norte de la Terraza C, nivelado a cero grados.

(En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala

El sector Sur de la Terraza C está delimitado por los siguientes puntos y elevaciones descritos en el cuadro siguiente:

Cuadro 13: Puntos con elevaciones del perfil Sur

que delimitan la Terraza C. (En metros).

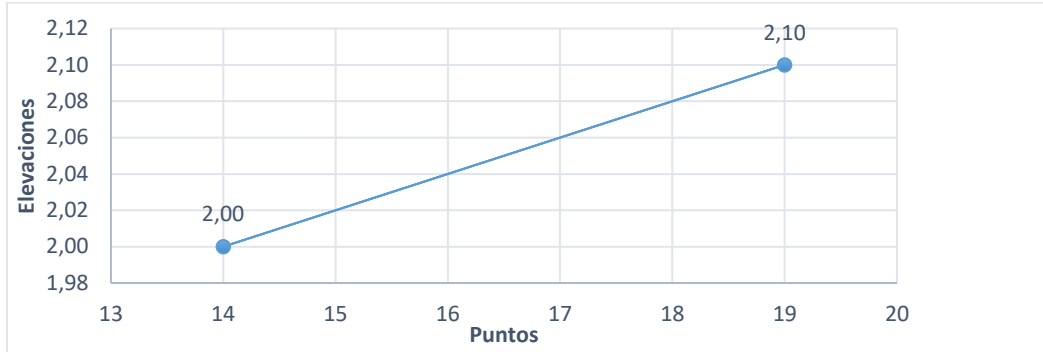
Punto	Elevación	Desnivel
14	2,00	00
19	2,10	0,67
Promedio	2,33	0,33

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos

del Drone. Junio 2021.

Los puntos del sector Sur de esta Terraza originan el siguiente perfil gráfico:

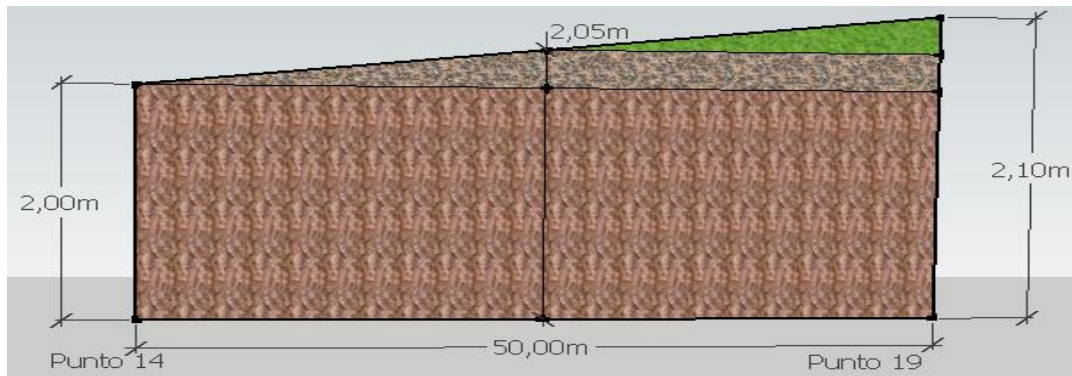
Gráfico 11; Representación de puntos y elevaciones del perfil Sur de la Terraza C.



Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Este perfil sur longitudinal se representa en el siguiente corte:

Figura 30: Corte longitudinal del perfil Sur de la Terraza C.

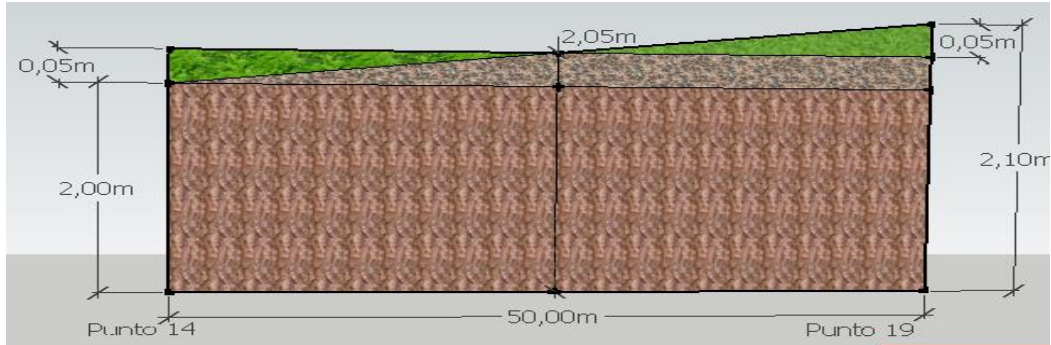


Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Los puntos del sector Sur de esta Terraza, nivelados a cero grados se puede observar en el siguiente corte:

Figura 31: Corte del perfil longitudinal sur de la Terraza C, nivelado a cero grados.

(En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

#### 4.7.5. Nivelación de la Terraza C.

Observando detalladamente este corte, determinamos que el terreno en este perfil de promedios contiene una pendiente de 0.67%, siguiendo la propuesta del estudio en descartar la nivelación a cero grados, le podemos asignar una pendiente de 0.4%, generando el perfil y corte siguiente:

Cuadro 14: Elevaciones promedio de los perfiles Norte y Sur que delimitan la Terraza C.

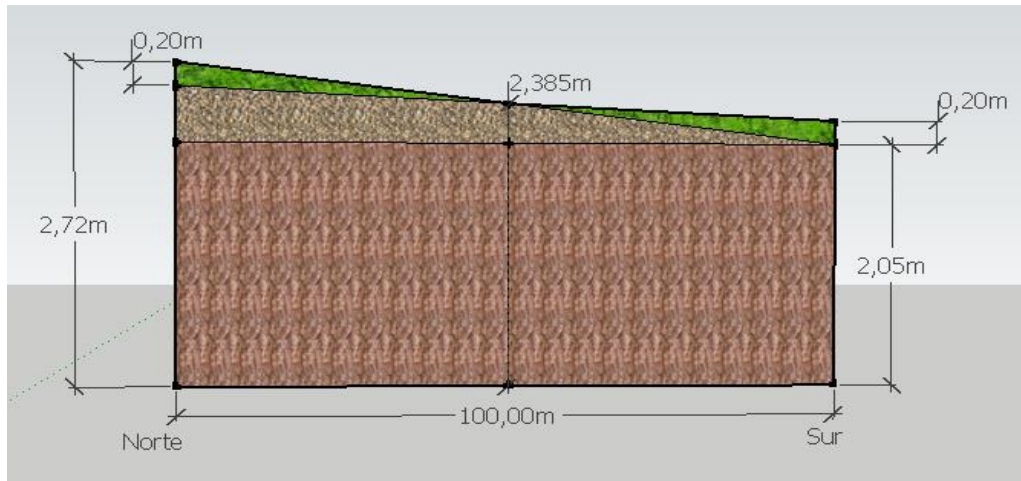
(En metros).

Puntos y ubicación	Promedio de elevación
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Norte	2,72
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Sur	2,05
Desnivel	0,67

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Figura 32: Corte del perfil de nivelación Terraza C, con una pendiente de 0.4%.

(En metros)



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

#### 4.8. Propiedades de la Terraza D.

##### 4.9.1. Coordenadas de la Terraza D

La cuarta sección rectangular corresponde a la Terraza D, tiene una longitud de 50 metros de ancho por 100 metros de longitud, comprende un área de 5312,50 m<sup>2</sup> y se ubica en el sector Este del terreno, comprende los puntos del 14 al 23 con las siguientes coordenadas y elevaciones.

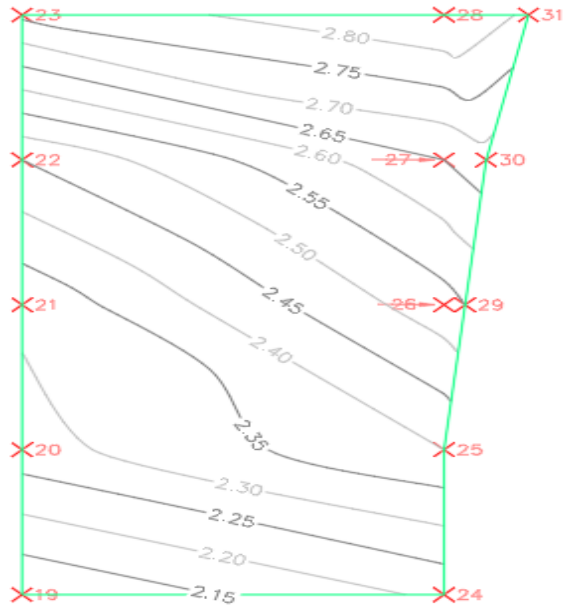
Cuadro 15: Coordenadas y elevaciones de los puntos que componen la Terraza D

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación
19	160,00	0,00	2,10
20	160,00	25,00	2,28
21	160,00	50,00	2,31
22	160,00	75,00	2,45
23	160,00	100,00	2,77
24	210,00	0,00	2,21
25	210,00	25,00	2,40
26	210,00	50,00	2,79
27	210,00	75,00	2,65
28	210,00	100,00	2,85
29	212,50	50,00	2,55
30	215,00	75,00	2,68
31	220,00	100,00	2,79
Promedio	192,11	55,76	2,52

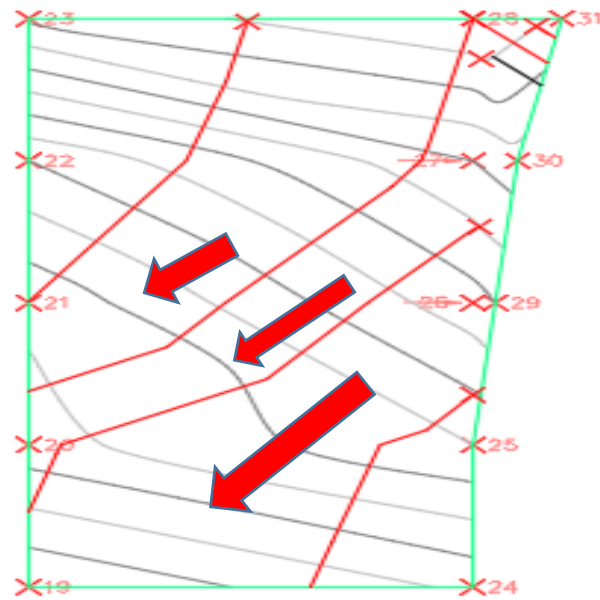
Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

#### 4.8.2. Curvas de nivel y dirección natural de la escorrentía

Figura 33: Curvas de nivel de la Terraza D (Cada 0,05 m)      Figura 34: Dirección de la escorrentía natural en la Terraza D.



Registro del programa CivilCad3D®, 2019.



Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

#### 4.8.3. Resumen estadístico de CivilCad3D® 2019 de la Terraza D.

El resumen generado por el programa CivilCad3D® 2019, alimentado con los datos de esta Terraza se puede apreciar en la siguiente Figura:

Figura 35: Propiedades naturales del terreno, Terraza D. (En metros)

Estadísticas	Valor
<b>General</b>	
Número de revisión	0
Número de puntos	13
Coordenada X mínima	160.000m
Coordenada Y mínima	0.000m
Coordenada X máxima	220.000m
Coordenada Y máxima	100.000m
Elevación mínima	2.100m
Elevación máxima	2.850m
Elevación media	2.461m
<b>Extendida</b>	
Área de superficie 2D	5312.50metros cuadrados
Área de superficie 3D	5312.67metros cuadrados
Pendiente/talud mínimos	0.27%
Pendiente/talud máximos	1.30%
Pendiente/talud medios	0.75%
<b>TIN</b>	

Registro del programa CivilCad3D®, 2019.

#### 4.8.4. Tabulación de datos y perfiles de la Terraza D.

El sector Norte de esta Terraza comprende tres puntos con los siguientes datos topográficos:

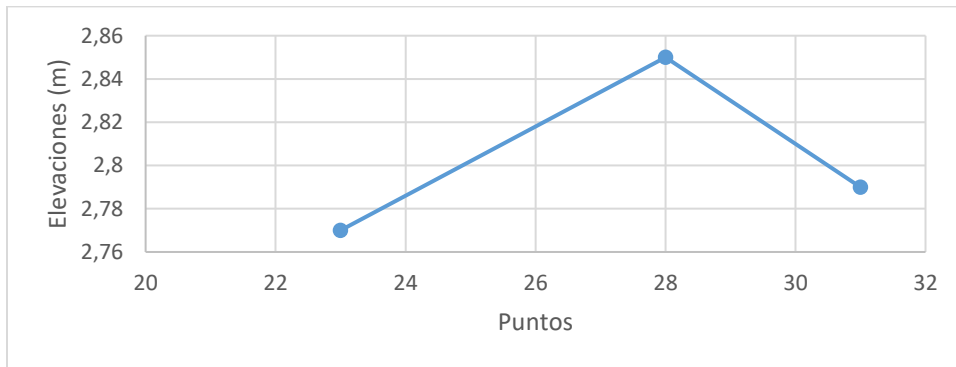
Cuadro 16: Puntos con elevaciones del perfil Norte que delimitan la Terraza D. (En metros).

Punto	Elevación	Desnivel
23	2,77	00
28	2,85	-0,8
31	2,79	-0,02
Promedio	2,80	-0,41

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Los datos de este cuadro originan el siguiente perfil gráfico:

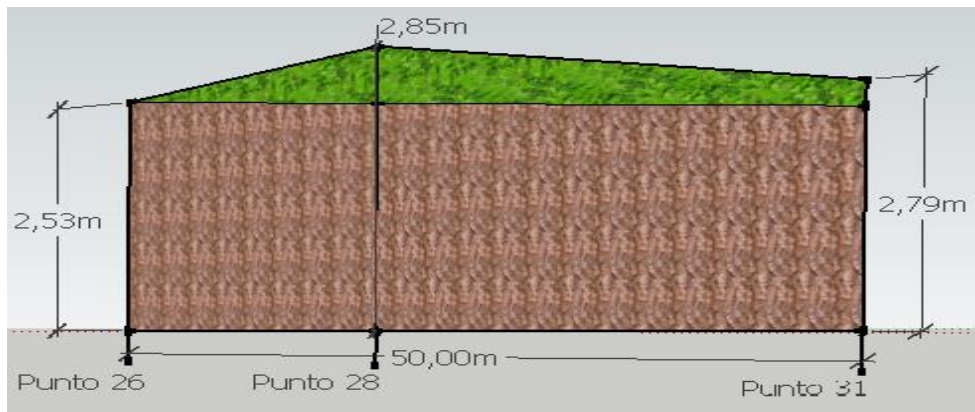
Gráfico 12; Representación de puntos y elevaciones del perfil longitudinal norte de la Terraza D.



Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

La representación mediante un corte del perfil Norte se presenta a continuación.

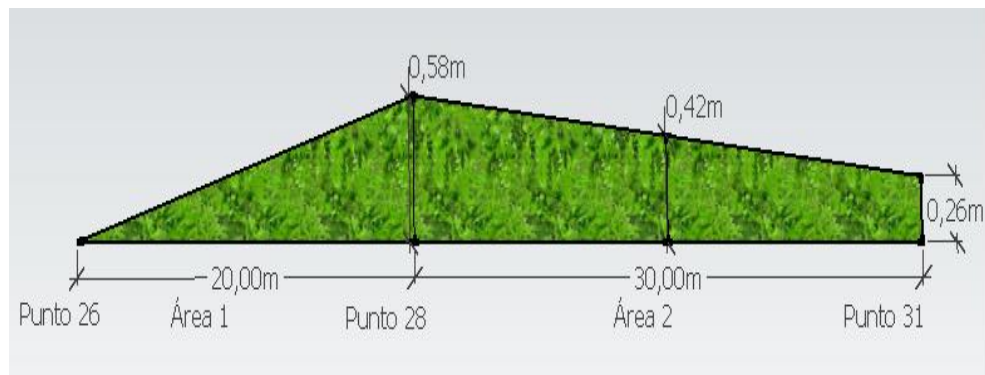
Figura 36: Corte del perfil Norte de Terraza D, (En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Este perfil con sus tres puntos que conforman nivelado a cero grados se necesita calcular en el área que está por encima del punto más bajo (2,53 m), posteriormente definir el promedio para determinar la elevación de nivelación, como lo muestra la figura 29:

Figura 37: Corte del perfil Norte de Terraza D. (En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Tabulando los datos del corte anterior en el cuadro siguiente se definen los siguientes resultados:

Cuadro 17: Puntos con elevaciones del perfil Norte que delimitan la Terraza D. (En metros).

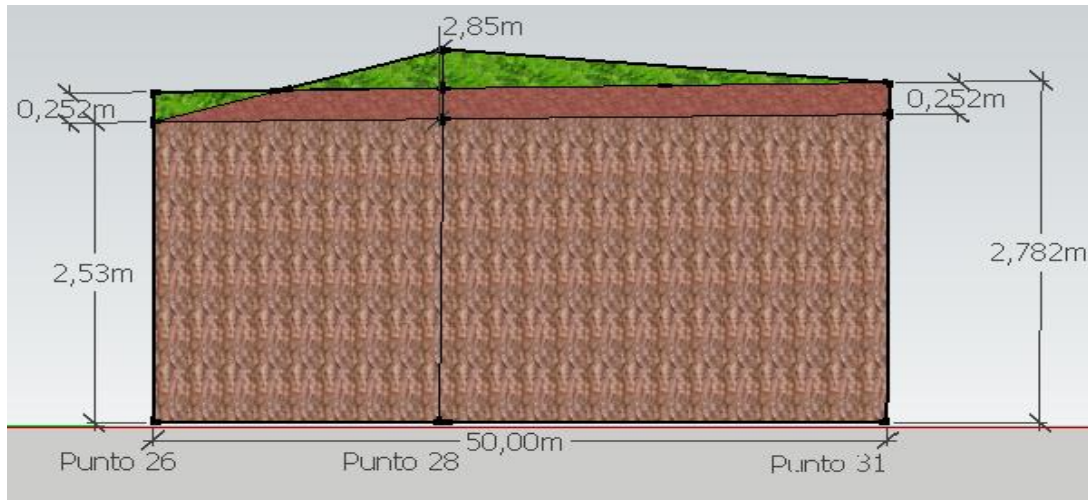
Sección	Base	Elevación	Área
1	20.00	0.58	5.80
2	30.00	0.42	12.60
Sección resultante	50.00	0.252	12.60

Fuente: Datos de la Figura 37. Diciembre 2021.

Los resultados del cuadro anterior, permite determinar las propiedades el perfil Norte nivelado en esta Terraza, el cual se define en el corte siguiente;

Figura 38: Corte del perfil longitudinal Norte de la Terraza D, nivelado a cero grados.

(En metros).



Registro del programa sketchUP con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Como se puede observar la elevación promedio en el corte es de 2,782, esta sirve de referencia para asignar la pendiente que se le debe establecer a la Terraza en la nivelación transversal.

El perfil Sur de esta Terraza está conformado por los siguientes puntos y elevaciones.

Cuadro 18: Puntos con elevaciones del perfil Sur que delimitan

la Terraza D. (En metros).

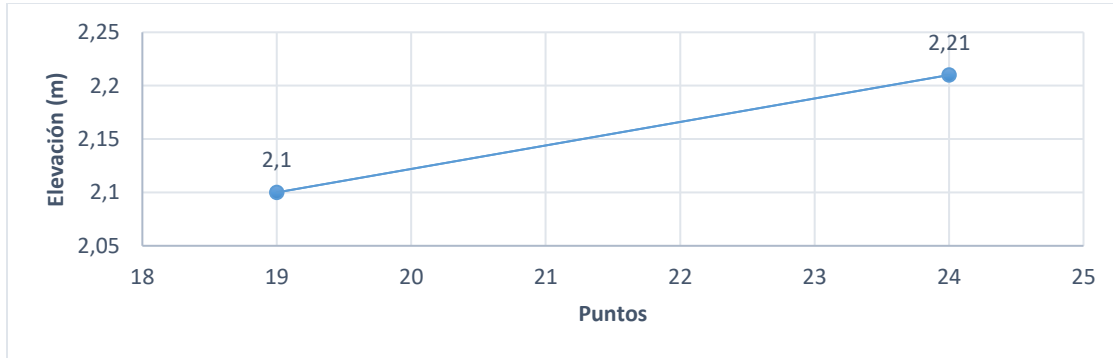
Punto	Elevación	Desnivel
19	2,100	0,000
24	2,210	0,110
Promedios	2,155	0,055

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone.

Junio 2021.

Los datos de puntos y elevaciones del cuadro anterior, originan el siguiente perfil gráfico:

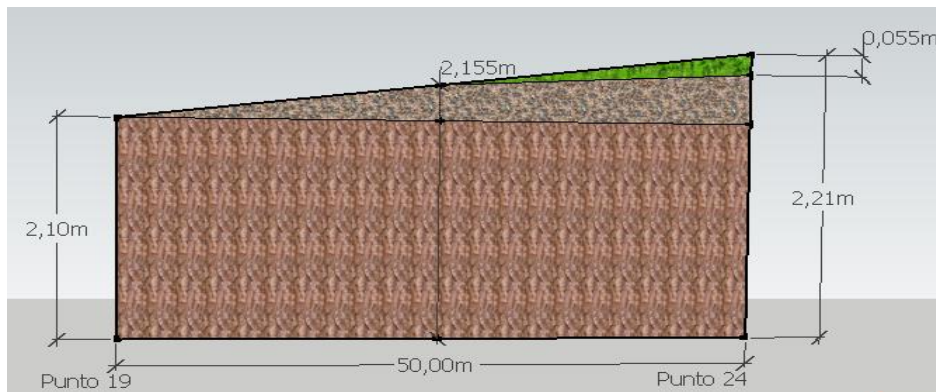
Gráfico 13: Representación de puntos y elevaciones del perfil Sur de la Terraza D.



Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Este perfil longitudinal sur de esta Terraza mostrado en un corte se aprecia de la siguiente forma:

Figura 39: Corte del perfil longitudinal Sur de la Terraza D, (En metros).

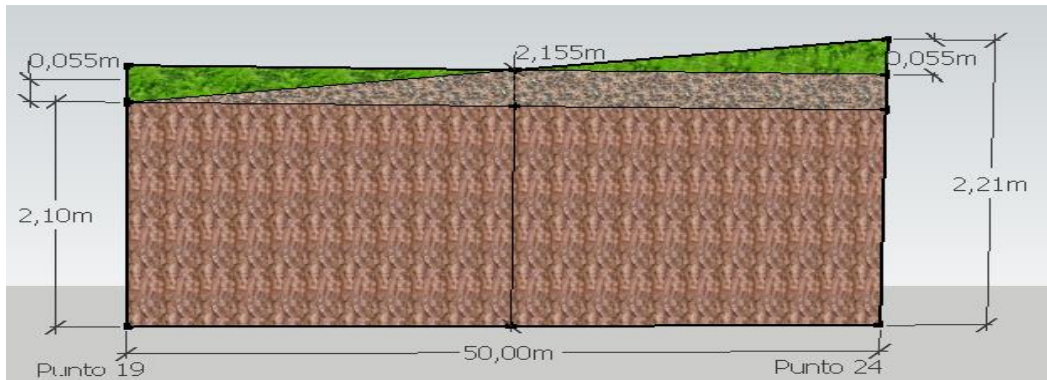


Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Con los datos del gráfico anterior, se origina el siguiente corte norte en esta Terraza nivelado a cero grados:

Figura 40: Corte del perfil longitudinal Sur de la Terraza D, nivelado a cero grados.

(En metros).



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

#### 4.8.5. Nivelación de la Terraza D.

Continuando con el proceso según la metodología planteada, se procede a representar el corte del perfil transversal, que relaciona el promedio de los perfiles Norte y Sur en la Terraza, mostrado en el siguiente cuadro:

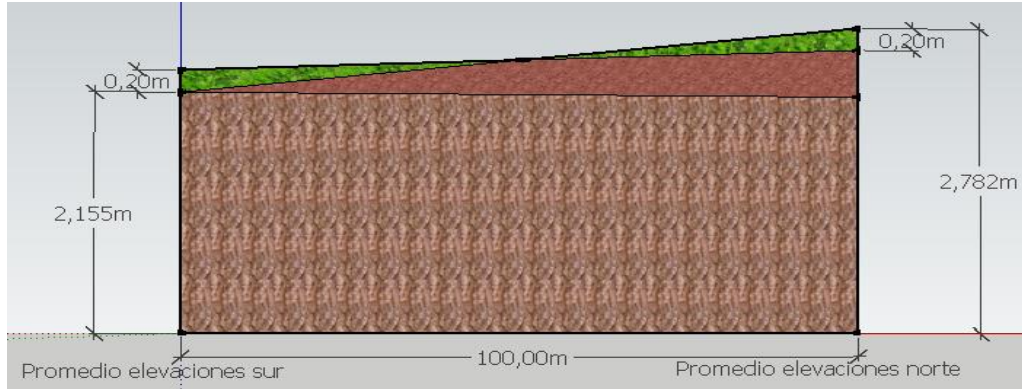
Cuadro 19: Elevaciones promedio de los perfiles Norte y Sur que delimitan la Terraza D. (En metros).

Puntos y ubicación	Promedio de elevación
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Norte	2,782
Promedio de elevaciones de nivelación longitudinal Sur	2,155
Desnivel	0,63

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

Elaborando el corte transversal con los datos de este cuadro en la Terraza D, se determina la pendiente que se le asigna a la nivelación, siempre con el criterio de evitar el estancamiento de agua.

Figura 41: Corte del perfil de nivelación Terraza C, con una pendiente de 0.4%. (En metros)



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Los resultados de este estudio se enfocan en las cuatro Terrazas que conforman el área total del terreno del terreno, ubicados de la siguiente forma.

Cuadro 20: Pendientes naturales y de nivelación en cada una de las Terrazas.

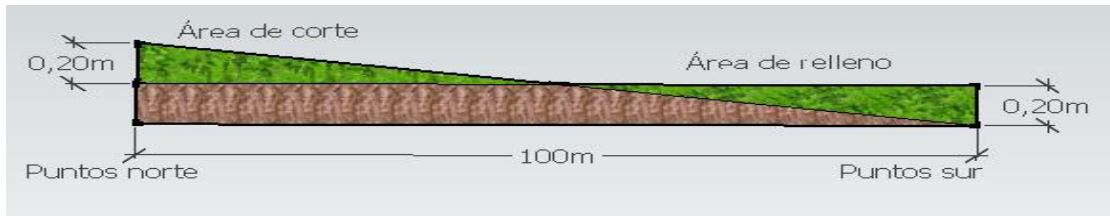
Terraza	Ubicación	Pendiente transversal (%)	Pendiente de nivelación
A	Oeste	0,88	0.40
B	Centro Oeste	0,74	0.40
C	Centro Este	0,77	0.40
D	Este	0,63	0.40

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

#### 4.10. Volumen de suelo del corte y relleno en el terreno

Los alcances del trabajo implican la determinación de los volúmenes de suelo que se deben reubicar para determinar el presupuesto de la obra. Para nivelar Terrazas se determina un área de corte y otra de relleno, de acuerdo con las elevaciones, este trabajo definió estas secciones de acuerdo con la siguiente figura:

Figura 42: Áreas de corte y relleno de los perfiles transversa de las Terrazas, con una pendiente de 0.4%. (En metros)



Registro del programa sketchUp con datos de CivilCad3D®, 2019. Sin escala.

Esta relación de corte y relleno aplicada a las Terrazas otorgan los datos para calcular en forma independiente los volúmenes de suelo que se deben trasladar de los sectores de mayor elevación a los de menor altura, en cada una de las Terrazas, aplicando la siguiente ecuación para el cálculo de volumen con los datos de la nivelación en cada Terraza se obtiene el cuadro

siguiente: 
$$V=(A1+A2) \frac{H}{2} . \quad (1)$$

Donde:

A1 = Área del perfil 1 de nivelación.

A2= Área del perfil 2 de nivelación.

H= Elevación del corte de nivelación.

Cuadro 21: Cuantificación del volumen de suelo recortado en cada Terraza. (En metros).

Terraza	Ubicación	Área (m <sup>2</sup> )	Elevación (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )
A	Oeste	2875.00	0.20	287.50
B	Centro Oeste	2500.00	0.20	250.00
C	Centro Este	2500.00	0.20	250.00
D	Este	2778.42	0.20	277.84
Total				1065.34

Fuente: Archivos Microsoft excel generados con datos del Drone. Junio 2021.

#### 4.9. Cálculos hidráulicos agrícolas

La irrigación de pastos y cultivos requiere del cálculo de las demandas de agua en época seca, para satisfacer las demandas específicas que se requieren, para diseñar un sistema el riego por gravedad se necesita calcular las siguientes variables:

##### 4.9.1. Caudal requerido o caudal dotación

Es la cantidad o volumen de agua que se necesita, para satisfacer la lámina bruta de riego. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q = \frac{Lb \cdot A}{Tr \cdot 60} \quad (8)$$

Donde:

Q = caudal requerido, en litros/segundo (l/s)

Lb = es la lámina bruta expresada en mm/ha

TR = es el tiempo de riego expresado en minutos

A = área total a regar, en m

En este proyecto por estar ubicado en área de cobertura del Distrito de Riego Arenal Tempisque, el (DRAT), el caudal de dotación de agua es establecido por el SENARA, según el cultivo que se ubique en el área, para el caso del pasto transvala, por ubicarse en áreas dedicadas al cultivo de arroz, el suministro es igual y corresponde a 6,02 l/s, definido en el año 2017 para riego por gravedad, el cual es una variable que se debe considerar en el diseño. (Anexo 2).

##### 4.9.2. Cálculo de la lámina neta de riego

La lámina neta o también referida por algunos autores lámina máxima, es la cantidad de agua que debe ser aplicada durante el riego con el fin de aportar el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración,

La lámina de riego de pre siembra y es conocida como aquella lámina que deberá tener el suelo en el momento de la siembra y la máxima humedad que puede retener el suelo, es decir, cuando está a capacidad de campo. (Anexo3), esta se calcula en función de las características físicas de suelo y el cultivo con la siguiente formula:

$$L_n = \left[ \frac{CC-PMP}{100} \right] * D_{ap} * Z. \quad (9)$$

Donde:

$L_n$ : Lamina de riego neta

CC: Capacidad de Campo en suelo arcilloso = 31% según anexo 3.

PMP: Punto de Marchitez Permanente =15% según anexo 3.

$D_{ap}$ : Densidad aparente = 1,2 según anexo 3.

Z: Profundidad de raíces =15 cm según anexo 4.

$$L_n = \left[ \frac{31\%-15\%}{100} \right] * 1,2 \text{grs/cc} * 15 \text{ cm.} = 2,88 \text{ cm.}$$

#### 4.9.3. Cálculo de la lámina bruta de riego

Es el valor que indica la humedad necesaria para restituir la humedad consumida por el cultivo y factores ambientales en un período de tiempo que no se aplica riego, se calcula con la

fórmula: 
$$L_b = \frac{L_n}{E_{fr}}. \quad (10)$$

Donde:

$L_b$  = lámina bruta de riego en mm, cm.

$L_n$  = lámina neta de riego en mm, cm.

$E_{fr}$  = está expresado en valor decimal.

(Ejemplo: 50 % se expresa = 0,50)

Los datos considerados para esta fórmula provienen del anexo 5, donde se especifican para suelos arcillosos lo siguiente:

$$Lb = \frac{2,88}{0,50} = 5,76 \text{ cm}$$

Este valor indica que este suelo puede almacenar en una profundidad de 15 cm. Anexo 3 una altura de agua equivalente a 2,88 cm. Sin embargo, no se puede decir que toda esta agua está disponible para el cultivo, en general y dependiendo de la sensibilidad del cultivo al déficit hídrico, se acepta que se consuma aproximadamente el 50 % (Anexo 5), de la lámina neta para un sistema de riego gravitacional.

#### 4.9.4. Cálculo del volumen de agua requerido

Con el dato de la lámina bruta se calcula el volumen de agua requerido para cada Terraza, según el área, definido en el cuadro siguiente:

Cuadro 22: Cuantificación del volumen de agua en cada Terraza. (En metros).

Terraza	Ubicación	Área (m <sup>2</sup> )	Lámina bruta (m)	Volumen(m <sup>3</sup> )
A	Oeste	5437.50	0.00576	31.32
B	Centro Oeste	5000.00	0.00576	28,80
C	Centro Este	5000.00	0.00576	28,80
D	Este	5312.00	0.00576	30,59
Volumen		20749,5		119.51

Fuente: Archivos Microsoft Excel generados por CivilCad3D®.

#### 4.9.5. Cálculo del tiempo de riego

#### 4.2. Tiempo de riego

Leitón (1985) lo define como: “el tiempo en horas que debe durar una aplicación de riego, para satisfacer la lámina neta de riego, a la profundidad deseada”. Se calcula de la siguiente manera:

El tiempo de riego se calcula con la fórmula:

$$Tr = \frac{LB \cdot A}{Q \cdot 60} \quad (11)$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego en horas

Lb = Lámina bruta = 5,76 cm = 0,0524 m

Q = Caudal de abasto = 6,02 L/s por ha

A = Área de riego 20749,50 m<sup>2</sup>

Aplicando la fórmula:

$$Tr = \frac{119,51 \text{ m}^3}{0,012 \text{ m}^3 \cdot 3600} = 2,76 \text{ horas}$$

#### 4.9.6. Cálculo de la frecuencia de riego.

##### 1. Frecuencia de riego

La frecuencia de riego (Fr) se considera como una función del suelo y del cultivo porque relaciona la evapotranspiración real o uso consuntivo (Etr) del mes más crítico y la lámina neta de riego (Valverde 2007) e indica cada cuanto se debe regar (Leitón 1985).

Ésta puede calcularse de la siguiente manera:

$$Fr = \frac{Ln}{Efr} \quad (12)$$

Donde:

Fr = frecuencia de riego

Ln = Lámina neta = 2,88 cm

Etr = Evapotranspiración de cultivo =  
1,25 referida al anexo 6.

Aplicando la fórmula se tiene que convertir los 2,88 cm a 28,80 mm

$$Fr = \frac{2,88 \text{ cm}}{1,25} = 3,6 \text{ días}$$

#### 4.10. Diseño del canal de drenaje

La determinación de la capacidad del canal de drenaje implica adecuarlo al mes de octubre, que es el de mayor precipitación en la zona, de acuerdo anexo 4 en Abangares este mes presenta un promedio de 369 mm/mes, el anexo 6 describe una precipitación de 471,4 mm/mes que se usa por ser el mayor. (Mes octubre 471,4 mm/mes del año 2017), Según Rojas, N La máxima lluvia en 30 minutos correspondiente a 87,40 mm (174,80 mm/h) está registrada para la estación 74-20, ubicada en Liberia Guanacaste el día 04 de setiembre de 1983, este registro se debió a lluvias de tipo convectivo por la perturbación del fenómeno ZCIT.

Según Xavier Zamorano la escorrentía ocurre cuando la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo. Para el diseño de este drenaje se tomará la referencia de precipitación de 471,4 mm/mes, estimando a 30 días mes resulta 15,71 mm/día, que es referida a que ocurra en una hora.

Aplicando la fórmula de Escorrentía:

$$E = P - I - E_v \quad (13)$$

Donde:

E = Escorrentía total (mm)

P = Precipitación extrema (mm/día). Anexo 7.

I = Infiltración Total (mm/día). Anexo 8.

$E_v$  = Evaporación (mm/día). Anexo 6

Aplicando:

$$E = 15.71 \text{ mm/h} - 2.4 \text{ mm/h} - 0.246 \text{ mm/h} = 13.06 \text{ mm/h} = 0.013 \text{ m/h}$$

Multiplicando este resultado por el área total del terreno se obtiene el volumen de la escorrentía que se debe descargar por medio del canal de drenaje.

$$V = E(A) \quad (14)$$

Donde:

E = Escorrentía en m.

A = Área en m.

$$V = 0.013 \text{ m/h} * 20749.5 \text{ m}^2 = 269.74 \text{ m}^3/\text{h} = 0.074 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Este canal de drenaje se ubica en el sector Sur, debe ejecutarse posterior a la nivelación y se desplaza por los puntos de este sector con las siguientes elevaciones.

Cuadro 23: Puntos y elevaciones del sector Sur nivelado

con pendiente a 0,4 %.

Punto	Elevación	Desnivel	Desnivel acumulado
4	2.20	0.00	0.00
9	2.25	0.25	0.25
14	2.25	0.00	0,25
19	2.355	0.105	0,355
24	2.355	0.00	0,355

Fuente: Resultados de nivelación. 2022.

De acuerdo con los datos de las elevaciones en este cuadro se tiene un desnivel acumulado entre el punto 4 y el 24 de a,355 %, que corresponde a la pendiente (S) que se le puede asignar al canal de drenaje. Esta pendiente cumple con lo propuesto por Villón en el anexo 10, donde establece 0.9 % como la pendiente máxima para el canal en suelo arcillosos.

#### 4.10.1. Diseño del canal de drenaje en geometría trapezoidal mediante el programa H Canales versión 1994 de Máximo Villón Béjar

El canal de drenaje propuesto es de geometría trapezoidal, debido a que los equipos agrícolas de la zona están diseñados para estos, se basa con la precipitación diaria del mes octubre 471,4 mm/mes del año 2017, corresponde a 15.75mm diarios estimados en una hora con este dato procedemos al diseño de sus dimensiones mediante el programa H Canales de Villón, usando un coeficiente de rugosidad de 0.22 que corresponde al margen parámetros definidos como tierra buenas y malas según el anexo 10. Cuando se calcula con este programa es importante hacerlo

varias veces (Tanteo) para verificar que la base (b) esté adecuada al ancho del equipo, también debe cumplir con el número de Froude (F).

Figura 43: Propiedades del canal de drenaje en forma según el programa H Canales.

**Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular**

Lugar: **Abangares Guanacaste** Proyecto: **Finca Florrey**  
 Tramo: **Sector sur** Revestimiento: **Suelo con maleza baja**

**Datos:**

Caudal (Q):	<b>0.074</b>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b):	<b>0.3</b>	m
Talud (Z):	<b>1</b>	
Rugosidad (n):	<b>0.22</b>	
Pendiente (S):	<b>0.2</b>	m/m

**Resultados:**

Tirante normal (y):	<b>0.2498</b>	m	Perímetro (p):	<b>1.0066</b>	m
Área hidráulica (A):	<b>0.1373</b>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R):	<b>0.1365</b>	m
Espejo de agua (T):	<b>0.7996</b>	m	Velocidad (v):	<b>0.5388</b>	m/s
Número de Froude (F):	<b>0.4151</b>		Energía específica (E):	<b>0.2646</b>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<b>Subcrítico</b>				

Diagrama de un canal trapezoidal con: ancho de solera (b), talud (Z=1), tirante normal (y), y espejo de agua (T).

Barra de herramientas: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

Estado: Limpia la pantalla para realizar nuevos cálculos | 13:24 | 9/3/2022

Fuente: Programa H Canales de Villón, 2022

Este canal reúne las propiedades técnicas requeridas como son el régimen subcrítico según su número de Froude y una velocidad menor a 1.15 m/s establecido por Israelsen Hansen del anexo 10, las dimensiones se pueden observar directamente en la figura anterior.

## CAPÍTULO V

### Análisis de resultados

Las elevaciones de los puntos longitudinales Norte del terreno muestran perfiles con variaciones de elevaciones mínimas, lo que produce que el terreno en su condición natural se percibe muy homogéneo.

1- De acuerdo con los resultados estadísticos del programa CivilCad3D®, se obtuvieron para la Terraza A pendientes mínimas de 0,57 %, máximas de 4,85 %, medias de 1,58 %, para la Terraza B las pendientes mínimas, máximas y medias fueron mucho menores con 0,54 %, 1,41% y 0,91 % respectivamente. En las otras Terrazas el comportamiento de desnivel fue similar quedando en la Terraza C una pendiente mínima de 0,12 %, máxima de 1,25 % y media de 0,67 %, en el caso de la Terraza D, los desniveles fueron de 0,27 %, 1,30 % y 0,75 % respectivamente. Estos resultados permitieron definir la propuesta de asignar con criterio técnico la pendiente de nivelación, quedando en un 0,4 % para las cuatro Terrazas. Según el decreto 232114 del MAG MIREMEN del 3 de mayo 2010 del anexo 10, el uso de suelos con pendientes menores a 1 %, no presentan grados de erosiones importantes, en este diseño las pendientes son inferiores al 1 %, ubicándolo en el rango aceptable, también los tallos de este pasto son estoloníferos pequeñas de alta densidad que actúan como retención de posibles micropartículas de suelo removidas en la mezcla agua suelo cuando ocurre la escorrentía.

2- Según las elevaciones de los puntos del perfil longitudinal Norte, la profundidad de corte en máxima es en el límite de la Terraza A y B específicamente en el punto 13 y el menor en el punto 8 ubicado en la Terraza A. Los resultados de este estudio generan cortes que están dentro de estos márgenes de profundidad, lo que origina que el procedimiento sea normal y apto para el movimiento de suelo.

3- Los suelos como los de este estudio en verano son agrietados y duros a la penetración de implementos, debido a esta propiedad cuando se hacen cortes con cualquiera de los implementos descritos se debe usar tractores de más de 100 cv, en la época lluviosa es imposible y muy complicado realizar el proceso de nivelación porque las arcillas cuando absorben agua se muestran muy cohesivas y se adhieren fuerte al implemento usado, formando terraplenes húmedos, produciendo que el tractor pierda capacidad de arrastre y atoramiento con suelo del implemento.

4- El estudio del suelo se realizó con datos de textura muy empíricos, debido al alto grado de evidencia de los suelos arcillosos en la zona, estos suelos es fácil identificarlos por las propiedades que se perciben en seco con la formación de grietas en su condición natural y la dureza al desmoronamiento cuando se presionan en la mano, con una alta cohesión y plasticidad cuando se les agrega agua.

5- El trabajo se fundamentó con datos de Capacidad de Campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y escorrentía de otros estudios, debido a que la parcela es una área pequeña con respecto a los cultivos de pasto en la zona, cualquier variación cuando se realizan pruebas de laboratorio, para el cálculo de estas variables no presentarán grandes modificaciones a los resultados, en cuanto a caudal requerido y diseño de los caudales de drenaje, debido a que las cuantificaciones son relativamente muy bajas.

6- Cuando se trabaja en riego con capacidad de campo y punto de marchites permanente se debe interpretar los resultados de cálculo donde intervienen como variables para cálculos matemáticos, en este caso se usaron en la determinación de la lámina neta de agua, la cual fue de 2,88 cm, que dio origen al cálculo de la lámina bruta utilizada en el diseño hídrico. Lo ideal es mantener siempre la humedad del suelo sobre la capacidad de campo, cuando se aplica riego por gravedad el suelo generalmente se satura más en los puntos de entrada del agua que en los de salida, en este proyecto canal de abastecimiento interno se ubica en el sector Norte, iniciando en el punto 3 de la Terraza A, pasando por los puntos 8, 13, 18, 23 terminando en el punto 31 de la Terraza D. Este canal debe tener un caudal de 12,4 l/s con pendiente a cero grados, debido a que se debe rebalsar en forma homogénea hacia el sector sur en cada una de las Terrazas.

7- Los resultados indican que la frecuencia de riego es de cada 3,6 días, para efectos de manejo estos se pueden reducir 3 días, disminuyendo el tiempo de riego proporcionalmente. El sistema de riego por gravedad tiene una baja eficiencia comparado con otros, por lo que se considera que es imposible pretender que los sistemas tradicionales de riego gravitatorio como el del presente diseño, alcancen uniformidades definitivas en las primeras aplicaciones.

8- La construcción de los canales de abastecimiento y drenajes en la zona, generalmente se realizan con surcadores, vertederas y en algunos casos con el arado de discos, en caso de realizarlo con surcadores, el corte es en forma triangular, lo que implica que se le debe asignar y marcar en el equipo la profundidad calculada, originada por el área de cada canal, aplicada a figuras triangulares. Las longitudes de los canales de drenaje son de 200 m cada uno, se pueden considerar longitudes pequeñas y aptas para construir en forma manual, en la zona muchos de estos canales de drenaje que son poco profundos, se realizan con la rufa, levantándose la pala en un costado, lo requerido según la profundidad calculada del drenaje.

9- El resultado comparativo entre el caudal aportado por el DRAT en la zona permite nivelar el terreno con los parámetros establecidos en el trabajo, garantizando que no ocurra la erosión hídrica durante la aplicación del riego.

10- Los resultados de este trabajo argumentan los alcances propuestos y son de vital importancia para iniciar la etapa en campo, cumpliendo con lo propuesto, además generan toda la información necesaria para elaborar el presupuesto y poder desarrollar una buena supervisión durante la ejecución.

11-El resultado del diseño del canal de drenaje mediante el programa H Canales generó un régimen supercrítico, porque es propuesto en la máxima condición lluviosa de la zona en los últimos 10 años.

## Conclusiones

1- Uno de los factores por considerar en un sistema de riego por gravedad, es la aplicación de la primera inundación, se puede partir de dos criterios para definir el tiempo de esta aplicación, la primera se basa en que el terreno arcilloso esta con una humedad muy baja, por ser época de verano, con mucha velocidad de infiltración al principio superior a 2,5cm/hora (Anexo 3), y baja infiltración al final según el anexo 3, para las arcillas es menor a 0,25cm/hora. Para cada suelo existe una relación parabólica que se manifiesta en una curva de infiltración que permitirá estimar el tiempo de este primer riego.

2- La irrigación de este terreno se debe realizar por Terrazas, controlar el flujo de agua durante la primera inundación para evitar el efecto que ocurre en riego por gravedad, que se humedece más el suelo en la entrada del agua que en la salida.

3- El resultado de la lámina bruta de 5,76 cm calculado con la ecuación (12) frecuencia de riego de 3,6 días quedando establecido a 2 riegos por semana. En la zona el mes de mayor precipitación es octubre, el mayor registro mensual es en el mes de octubre, específicamente en el año 2017 con 471.4mm (Anexo 6), considerando a 30 días se puede determinar que la precipitación media diaria no será mayor a los 16mm, generando que el canal de drenaje siempre se comporte como no erosivo.

4- La textura arcillosa del terreno del terreno en estudio mostró sus propiedades de alta cohesión y adhesión en el momento de hacer la prueba al tacto, estos suelos son muy comunes en las zonas bajas de la provincia de Guanacaste y son aptos económicamente para algunos cultivos. La velocidad de infiltración de agua en este suelo al principio es muy rápida, pero si se sigue aportando agua, llega un momento en que esta velocidad se muestra constante, esto ocurre cuando el suelo está saturado.

5- Esta labor de nivelación se ejecuta en la estación seca porque los suelos arcillosos es imposible y muy difícil mecanizarlos en época lluviosa por la alta adhesión y cohesión que presentan cuando se humedecen, los atoramientos de los discos de la rastra de primer paso, evitan que giren en el corte, esta situación hace que el tractor pierda capacidad de arrastre y si lo logra realizar, origina un arrastre desproporcionado de suelo cohesivo en las partes de adelante del equipo. También ocurre cuando el suelo está saturado, que los equipos penetran, pero lo que realizan es un corte similar al de un queque y no se remueve el terreno lo óptimo.

6- De acuerdo con los márgenes de pendiente en cada Terraza el terreno se considera muy plano, las pendientes medias aportadas por el programa CivilCad3D® en cada una de las Terrazas fue muy similar en las Terrazas B, C, y D con 0,91%, 0,67% y 0,75%, estas están en su condición natural inferiores al 1%. Para la Terraza A la pendiente media fue de 1,58% debido a que en el punto #13 se encuentra la mayor elevación del terreno con 2.91m y este junto con el punto #3 generan la condición viable para la entrada inicial del agua.

7- La pendiente de nivelación asignada de 0,40% es baja y facilita la calibración del equipo para ejecutar el movimiento de suelo, también se ajusta a lo planteado el trazado de las curvas de nivel en el programa CivilCad3D® con las curvas maestras a cada 10 cm, esta pendiente no es perceptible a la vista del ser humano, lo que producirá un efecto de observar el terreno totalmente plano.

8- De acuerdo a las elevaciones del sector norte induce a que la nivelación de este terreno debe ser roturado con la rastra agrícola de primer paso, con discos de 28 pulgadas o con arado, generalmente se deben ejecutar dos pasos más de rastra afinadora para triturar bien el suelo. En los puntos 3 y 13 de la Terraza A, posiblemente se necesita cortar dos veces con la rastra de primer paso, ya que el terreno deberá tener un corte superior a 30 cm de profundidad.

9- Cuando se ejecutan nivelaciones con rayo láser determinadas a una pendiente específica el supervisor o encargado de la obra debe marcar con estacas con referencias de las elevaciones en los puntos laterales, y centrales para asegurarse que se proceda a cumplir con el diseño. Estas nivelaciones no son de alta precisión, debido a que cuando se los datos en el campo el suelo está muy suelto que es lo deseado en una buena preparación para la siembra, con la acción del agua tiende a compactarse y se pueden dar variaciones milimétricas en algunos puntos de lo planteado en el diseño, sin embargo, esta inconsistencia no es para que afecte el resultado de un riego uniforme.

10-El uso de Drones para el levantamiento de información topográfica del terreno agiliza el tiempo de recolección de datos en los alineamientos horizontales y verticales, también con un buen manejo de las herramientas extras a que estos tienen acceso en la red, permiten investigar sobre otras propiedades como son el relieve, tipos de suelo, mantos acuíferos, identificación de especies vegetales, plagas y enfermedades y minerales del suelo. Los Drones son muy precisos cuando las condiciones específicas de vientos son muy bajas, y la ausencia de precipitaciones, también es muy importante verificar que el GPS esté siendo guiado por varios satélites para su mayor precisión.

## Recomendaciones

- 1- Los riegos semanales se pueden fraccionar con un riego lunes en la mañana y el otro los jueves en la tarde, durante la aplicación del primer riego si el suelo está muy seco, lo cual es visible por las grietas formadas por las arcillas es más efectivo ejecutarlo en horas nocturnas.
- 2- Durante el primer riego por estar el suelo muy seco, la duración el mayor, el operador de riego debe estar atento al levantamiento de pequeños reflujos en el canal de abastecimiento ubicado en el sector Norte, para ejecutar humedecimiento transversal lentamente sin causar erosión hídrica. Cuando se tengan que realizar diseños en áreas mayores se deben incorporar las pruebas de laboratorio de suelos, para determinar textura, Capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), escorrentía (E) y erosión debido a que mayores longitudes pueden originar que la erosión hídrica cause efectos negativos sobre la producción y rendimiento del pasto.
- 3-Si el encargado de manejo del riego en la parcela, decide reducir la frecuencia y los tiempos de riego, es importante que posea instrumento portátil para medir la humedad del suelo a 5 cm de profundidad en los puntos de finales del agua y comparar que no sean inferiores a la capacidad de campo del diseño que fue de 33 %.
- 4-Los canales de drenajes por ser de dimensiones relativamente bajas, se recomienda realizarlos con surcadores, produciendo figuras triangulares, el encargado del proceso de construcción debe calcular la profundidad del canal de cada rectángulo, según las dimensiones laterales y verticales del surcador, cumpliendo que sea igual al área propuesta en este diseño.
- 5-Existen importantes posibilidades de tecnificar el riego gravitacional en todos sus componentes desde la conducción, control del tiempo de aplicación. Todo empieza por lograr un buen diseño consultando a un profesional especializado y la aceptación del encargado de la operación en el campo.

6- Para ejecutar un proyecto con estas características se deben iniciar las gestiones con suficiente antelación de la solicitud del caudal requerido, este debe considerar un valor de seguridad y en caso que no se logre se debe construir un embalse en la parte de mayor elevación, que se sitúa en el sector Este, específicamente en el punto 31, este depósito de agua debe ser calculado y diseñado, según el caudal requerido por el pasto.

7- En la nivelación agrícola cuando se requieren profundidades de corte del terreno superiores a 30 cm, no se usa en primera instancia la rastra de primer paso, esta es sustituida por el subsolador que puede penetrar a mayores profundidades dependiendo de capacidad del bastidor y la potencia del tractor.

8-El proceso de nivelación inicia en los puntos del sector Norte, para efectos de calidad del trabajo debe realizarse una buena supervisión durante la ejecución de los movimientos de suelo, es necesario muestrear estos puntos que cumplan con el diseño para que este sea efectivo.

Cuando el tractor realiza los primeros cortes el supervisor debe verificar la profundidad porque este sirve de base para la guía y dirección del desplazamiento en el movimiento del suelo. Es indispensable marcar con estacas algunos puntos laterales del terreno, con la indicación y flecha de dirección si es corte o relleno en los puntos escogidos, esto servirá como prueba del seguimiento de lo propuesto en el diseño.

9- Se recomienda tener una buena comunicación con el operador de la nivelación para calibrar bien el equipo antes de iniciar el trabajo de movimiento de suelos. Además, se debe concientizar al regador para que exista un buen manejo y control de riego para incrementar los ahorros de agua y disminuir los desperdicios, por ser dos secciones rectangulares, es necesario hacerlo en por sección.

10-Cuando se realizan levantamientos topográficos en la zona con Drone, es necesario ejecutarlos cuando el viento está en la mínima velocidad y que no haya precipitación, estas son las únicas limitaciones en la precisión con que se recopilan los datos.

11- Este trabajo utilizó el método manual, básico para calcular los volúmenes de suelo de corte y relleno, por medio de los perfiles de las curvas de nivel, porque es un área pequeña superior a 2 hectáreas, para trabajos de nivelación con mayores áreas es necesario apoyarse con las herramientas del programa CivilCad3D® o elaborar un software específico de mínimos cuadrados.

12- Para cualquier ingeniero que decida usar el programa CivilCad3D®, es necesario establecer las mayores triangulaciones de puntos y el menor ángulo posible en grados.

## Bibliografía

1. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). Decreto 15321-MAG.  
<http://www.senara.or.cr/proyectos/drat/index.aspx>
2. Murillo, F., (2013). Manejo agronómico de un sistema de producción de pacas de Heno a partir del pasto *Digitaria decumbens*, bajo riego en la sogá, Bagaces, Guanacaste (Trabajo Final de Grado). Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos Costa Rica. p 4,5,18.
3. Morales, J y otros. (2001). Industrialización del Heno de calidad de pasto transvala (*Digitaria decumbens*) bajo condición de riego. MAG, Costa Rica, p 4
4. Santiago J., Soubannier L. (1985). Riego y Drenaje. San José, Costa Rica. Editorial UNED, 177.
5. Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2003). Alcances Tecnológicos volumen (4), p2.
6. Araya, Valverde y Dengo (2010) INTA MAG. San José Costa Rica.
7. Villalobos, C, & Sanabria, N. (2010). Climatología de períodos quincenales secos, húmedos y de transición en las regiones climáticas del Norte y pacífico Norte (tesis de grado). Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. p 24.
8. Anuario de estudios Centroamericanos (UCR, 1987)
9. Palma M y Sánchez O. (2001). Agrostología. San José, Costa Rica. Editorial UNED.
10. Acuña, V., y Cruz, A. (2003) Ministerio de Agricultura y Ganadería. INTA. P4,5.
11. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (2014). Suelo Costa Rica orden vertisoles. Boletín Técnico 3. (INTA- COSTA RICA) *Agronomía Costarricense* 38(1): 107-131. ISSN:0377-9424 / 2014 *Agronomía Costarricense* 38(1): 107-131. ISSN:0377-9424 /

12. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. Suelos de Costa Rica orden vertisoles. Boletín Técnico 3. (INTA- COSTA RICA) Agronomía Costarricense 38(1): 107-131. ISSN:0377-9424 / 2014 Agronomía Costarricense 38(1): 107-131. ISSN:0377-9424 / 2014
13. Alvarado, A.A., Mata, R., Chinchilla, M. Arcillas Identificadas en Costa Rica a nivel generalizado durante el periodo 1931 al 2014.
14. Umaña, O. (2019). Caracterización física del suelo en fincas productoras de papaya de la región pacífico central mediante el Índice Intervalo hídrico óptimo (IOH o LLWR). p 3 9.
15. Stienz, C. & Salazar, D., & Rodríguez, A., & Alfaro, D y Oviedo, R. (1999). Manejo Integrado del salivazo, *Aeneolamia* sp y *Prosapia* sp (*homóptera*): cercopidae) en las regiones cañeras de Costa Rica. Congreso nacional de entomología. C Conferencia 63. XI. pp155-158.
16. Vinton, T., & León, R. (2005). La identificación y distribución de los salivazos de la caña de azúcar y los pastos (*homóptera*: *Cercopidae*) en Costa Rica. No. 7 5 p. 4 3 - 5 1.
17. Gómez, N., Villagra, K., Solórzano. M. La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo. P 175.
18. Mena, J. (2910). Cálculo de materiales para Maestros de obras. Núcleo de Tecnología de materiales, Instituto Nacional de Aprendizaje. San José, Costa Rica. p7.
19. Tascon, E. García, D. (1985). Arroz investigación y producción. CIAT. Cali, Colombia.
20. Cruz, N. (2009). Nivelación de suelo una tarea pendiente en el campo. Consultado el 7 febrero 2022. Disponible en: <http://www.agronoa.com.ar>.

21. Zúñiga, A. (2018). Desarrollo trabajo de Pasantía  
Manejo de equipos GPS para nivelación de suelo y siembra mecanizada con  
pilotos automáticos en el cultivo de arroz (*Oriza sativa*) Empresa Agrícola  
Miramontes, San Lorenzo, Boaco. Universidad Nacional Agraria (trabajo de  
pasantía) Boaco. Nicaragua.
22. IICA, Proisur. CATIE. Costa Rica.
23. Arguedas, D. (2000). Efectos Del Sistema De Riego Por Tubería Flexible De Polietileno y  
Canales Abiertos Sobre La Erosión Del Suelo En El Cultivo De Caña De  
Azúcar (*Saccharum officinarum*) (Tesis de Grado). Universidad Técnica  
Nacional, Cañas, Costa Rica. p 26-38.
24. Santamaría, J. (2019). Comparación Técnica Económica Utilizando Drone y Estación  
Total, para el Diseño Geométrico de Carreteras (tesis de grado). Centro  
poblado Cruz del Médano. Chiclayo. Perú. P 35
25. Diego, C. (2020). Contraste Metodológico en los MDT realizados con Drone (tesis de grado)  
Universidad de Cantabria, Cantabria, España. p 14, 66.
26. Diógenes, F., Rufo, M., Pari, W. (2018). Ventajas en los Levantamientos Topográficos con  
el uso de Vehículos Aéreos no Tripulados (tesis de grado). Universidad Autónoma  
de V. Lima, Perú.
27. López, A. (2011). Diseño de un Sistema de Riego con Viajero Autopropulsado en la  
Finca Mona, Compañía Palma Tica, Quepos. (tesis de grado). Instituto Tecnológico  
de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. p 17.

28. Loría, L. (2020). Propuesta de Diseño del Alcantarillado Pluvial, Contemplando Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible para el Barrio Juanito Mora, del distrito de Barranca, del cantón central de Puntarenas, (tesis de grado).  
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. p15. P21
29. López, J. (2014). Uso eficiente del agua en riego por melgas con dos y tres portañuelas, (tesis de grado). Obregón, Sonora Instituto tecnológico de Sonora. México. P21
30. Febres, H. (2005). Estimación del requerimiento hídrico de cuatro pastos mediante el uso de lisímetros bajo condiciones de El Zamorano, (tesis de grado). El Zamorano, Honduras. P12-23.
31. Rojas, N. Curvas de intensidad duración frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas. Minaet, Instituto Meteorológico Nacional.  
San José, Costa Rica.

## Anexos

### 1. Aeronave Phantom 4 DJI

Peso (batería y hélices incluidas) 1388 gramos

Tamaño diagonal (hélices excluidas) 350mm

Velocidad máxima de ascenso Modo S: 6 m/s

Modo P: 5 m/s

Velocidad máxima de descenso Modo S: 4 m/s

Modo P: 3 m/s

Máxima velocidad Modo S: 72 kph (45 mph)

Modo A: 58 kph (36 mph)

Modo P: 50 kph (31 mph)

Ángulo de inclinación máximo Modo S: 42°

Modo A: 35°

Modo P: 25°

Velocidad angular máxima Modo S: 250°/s

Modo A: 150°/s

Techo máximo de servicio sobre el nivel del mar 19685 pies (6000 m)

Resistencia máxima a la velocidad del viento 10 m/s

Tiempo máximo de vuelo Aprox. 30 minutos

Rango de temperatura de funcionamiento 32° a 104°F (0° a 40°C)

Sistemas de posicionamiento satelital GPS/GLONASS

Rango de precisión de desplazamiento Vertical:  $\pm 0,1$  m (con posicionamiento visual)  
 $\pm 0,5$  m (con posicionamiento GPS) Horizontal:  $\pm 0,3$  m (con posicionamiento visual)  
 $\pm 1,5$  m (con posicionamiento GPS)

Fuente: Consulta <https://www.dji.com/phantom-4-pro/info#specs>

## 2- Caudal de abasto SENARA.

Cuadro 30 Caudal requerido según sistema de riego en el cultivo de arroz.

Año	caudal según sistema de riego utilizado (m <sup>3</sup> /s)					caudal total(m <sup>3</sup> /s)
	Aspersión	Gravedad	Goteo	Otros	No utiliza	
1990	0,12	4,84	0,03	0,20	0	5,18
1997	0,12	5,08	0,03	0,21	0	5,44
2003	0,14	5,87	0,04	0,24	0	6,29
2011	0,13	5,46	0,03	0,22	0	5,84
2014	0,14	5,89	0,04	0,24	0	6,30
2017	0,15	6,02	0,04	0,24	0	6,45

Fuente: Hernández; M. Análisis de la Demanda Hídrica de los cultivos de caña de azúcar, arroz, sandía y melón en la cuenca media y baja del río tempisque, mediante el tratamiento de imágenes satelitales en el periodo de 1990-2017. 2013 Cartago, 2018. p 74

## 3- CC PMP Infiltración

Cuadro 1. Tabla de las propiedades físicas del suelo según su textura

Textura	Peso específico aparente (g/cc)	CC base suelo seco (%)	PMP Base suelo seco (%)	Velocidad de infiltración (mm/h)	Porosidad %	D.a. (gr/cm <sup>3</sup> )
Arenoso	1.55 - 1.80	6-12	1-6	20-250	32-42	1.55-1.8
Franco Arenoso	1.40 - 1.60	10-18	6-12.5	13-76	40-47	1.4-1.60
Franco	1.35 - 1.50	18-26	8-13	8-20	43-49	1.35-1.4
Franco arcilloso	1.30-1.40	23-31	11-15	2-15	47-51	1.3-1.4
Arcillo arenoso	1.25-1.35	27-35	13-17	0.3-5	49-53	1.25-1.35
Arcilloso	1.20-1.30	31-39	15-19	0.1-1	51-55	1.25

Fuente: (Israelsen & Hansen, 1979, 2ªed)

Fuente: Zamora, J. Diseño del acueducto y sistema de riego por aspersión para el abastecimiento de 33.5 hectáreas de *brachiaria brizantha* de la sociedad de usuarios de agua el Escobio, Liberia, Guanacaste. 2018.

#### 4-Profundidad de raíz en pastos

En la fase inicial, la raíz de las gramíneas es llamada primaria. Por lo regular, es de corta duración y luego desaparece para dar lugar a la raíz permanente.

El sistema de raíces se caracteriza por tener un número de raíces fibrosas ramificadas y densas que dan un gran soporte a la planta en el suelo, a su vez, funciona en la conservación de esta. Es característico que en estas plantas se dé la presencia de estas raíces secundarias, que se forman en los nudos de los tallos rastreros. Según el tipo de especie, las raíces pueden alcanzar una profundidad de 10 cm hasta unos 7 m.

Fuente: Domingo, J. Carballo, D. Manejo de pastos. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. Marzo 2005. P 4.

#### 5-Eficiencia del riego por gravedad

Cuadro 11 Eficiencias de sistemas de riego.

<b>Aspersión o Presurizado</b>	70%
<b>Rotor y/o Spray</b>	70%
<b>Microaspersión</b>	70%
<b>Goteo</b>	90%
<b>Gravedad</b>	50%

Fuente: Hernández, A. Análisis de la Demanda Hídrica de los Cultivos de Caña de Azúcar, Arroz, Sandía y Melón en la cuenca media y baja del río Tempisque, mediante el tratamiento de Imágenes Satelitales en el periodo de 1990-2017. ITCR. Cartago, 2018, P 46.

## 6- Evapotranspiración de transvala

Se compararon los Kc obtenidos usando la ETo y usando la evaporación medida en el tanque clase A (ETc/Ev). No se encontraron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los coeficientes, indicando que es posible el uso de esta medida para el control del riego (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación del Kc estimado usando la evapotranspiración de referencia (ETo) y la evaporación medida en la pana (Ev).

Pastos	Semanas del ciclo del cultivo						Promedio	
	1		2		3		ETo	EV
	ETo	EV	ETo	EV	ETo	EV		
Tobiatá	0.90	0.81	1.43	1.39	1.39	1.36	1.24	1.19
Andropogon	1.39	1.31	1.48	1.44	1.48	1.44	1.45	1.40
Transvala	1.25	1.15	1.40	1.42	2.29	2.46	1.65	1.66
Mulato	1.56	1.44	1.77	1.79	2.39	2.54	1.91	1.92

Fuente: Plaza, X. Determinación del requerimiento hídrico de cuatro pastos mediante el uso de lisímetros bajo condiciones de El Zamorano. Honduras. 2004. P 5

## 7- Precipitación mensual

Precipitación(mm/mes)	
Mes	2017
Enero	0
Febrero	0
Marzo	1,1
Abril	9,5
Mayo	0
Junio	153,1
Julio	107,7
Agosto	157,9
Septiembre	241,4
Octubre	471,4
Noviembre	53,9
Diciembre	42,5
<b>Total</b>	<b>1238,5</b>

Fuente: Pluviómetro de Estación Aforo CO-II citado por:

Arguedas, D. (200). Efectos Del Sistema De Riego Por Tubería Flexible De Polietileno y Canales Abiertos Sobre La Erosión Del Suelo En El Cultivo De Caña De Azúcar (*saccharum officinarum*) (tesis de grado). Universidad Técnica Nacional, Cañas, Costa Rica. p 15.

## 8 -Velocidad de infiltración

**Cuadro 3. 11 Valores de infiltración y clasificación según textura del suelo (Cisnero 2003)**

Clasificación	Infiltración (cm/hr)	Textura
Muy lenta	<0,25	Suelos arcillosos con un alto contenido de arcilla
Lenta	0,25-1,75	Suelos arcillosos y franco arcillosos bajos en materia orgánica
Media	1,75-2,50	Suelos franco arenosos o franco limosos
Rápida	>2,50	Suelos arenosos o franco limosos profundos y de buena agregación

Fuente: G. Acuña, C. “Diseño de un sistema integrado de riego superficial (surcos, melgas y cuadros) en el terreno designado como área experimental de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 2014. p 47

## 9-Velocidades máximas del agua en un drenaje

En la Tabla 4 se indica la velocidad permitida para varias condiciones de material.

Tabla 4  
**VELOCIDAD DE AGUA EN CANALES  
PARA VARIAS CONDICIONES DE MATERIAL**

MATERIAL	VELOCIDAD (m/s)
Arena fina	0,45
Limo aluvial	1,10
Franco arenoso	0,50
Arcilla	1,15
Pedregoso	1,50
Grava grosera	1,20
Concreto	3,00

FUENTE: Israelsen-Hansen, *Principios y Aplicaciones del Riego*. 1979.

Fuente: Citado por Valverde, J. Riego y Drenaje. San José, Costa Rica. 1998. p 126.

## 10- Rugosidad en canales abiertos

Tabla 3  
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD PARA VARIOS TIPOS  
DE MATERIAL USADO EN CANALES PARCELARIOS

TIPO	CONDICIONES	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
Concreto	Regulares	0,015
Tierra	Perfectas	0,017
	Buenas	0,020
	Malas	0,025
Grava	Buenas	0,030
Cemento	Buenas	0,012

FUENTE: Trueba, S. *Hidráulica*. 1981.

Fuente: Citado por Valverde, J. Riego y Drenaje. San José, Costa Rica. 1998. p 126.

## 11- Tractor nivelando terrenos con rufa.



Fig. 30.- Equipo de nivelación guiado por rayo láser en plena tarea de trabajo.

Fig. 30. La nivelación guiada por rayo láser es una práctica fundamental para la mejora del riego por superficie. En la fotografía se observan el tractor y niveladora provistos del equipo laser. A la derecha se encuentra el emisor de rayo láser sobre un trípode.

El transmisor va montado sobre un trípode alto que se sitúa en el lugar de trabajo. Genera un rayo láser rojo muy fino que gira rápidamente formando un plano de luz sobre la zona que se va a nivelar. El transmisor funciona con una batería de 12 voltios y tiene un alcance máximo de unos 300 m, el cual es menor en condiciones de viento y polvo (Figura 4).

El receptor consiste en una caja metálica con fotocélulas de silicona que son sensibles al rayo láser. Va montado sobre un mástil hidráulico en la trailla o niveladora y sirve para controlar la posición de la cuchilla del apero, utilizando como referencia el plano de luz emitido por el transmisor de rayo láser.

Fuente: Consulta a <https://baixardoc.com/preview/nivelacion-de-terrenos-para-riegodoc-5d000feca916f>.