



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL
ECUADOR**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
CON MENCIÓN EN RIEGO Y DRENAJE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA AGRÍCOLA CON MENCIÓN EN RIEGO
Y DRENAJE**

**EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL NIVEL FREÁTICO
EN LA HACIENDA ISABEL MARÍA PARA PROGRAMACIÓN
DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR**

ING. AGR. FEDERICO ALEJANDRO SALAZAR CRUZ

GUAYAQUIL, ECUADOR

2022

SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

CERTIFICACIÓN

El suscrito, Dr. FREDDY GAVILANEZ LUNA, en mi calidad de director **CERTIFICO QUE:** he revisado el Trabajo de Titulación, denominada: **EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL NIVEL FREÁTICO EN LA HACIENDA ISABEL MARÍA PARA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR**, el mismo que ha sido elaborado y presentado por el/la estudiante, **Ing. Federico Alejandro Salazar Cruz**; quien cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador para este tipo de estudios.

Atentamente,

Ing. Freddy Gavilánez Luna, Ph.D.

Guayaquil, 29 de julio de 2022

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA
DEL ECUADOR

TEMA

**EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL NIVEL FREÁTICO EN LA
HACIENDA ISABEL MARÍA PARA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CAÑA DE
AZÚCAR**

AUTOR

ING. FEDERICO ALEJANDRO SALAZAR CRUZ

TRABAJO DE TITULACIÓN

**APROBADA Y PRESENTADA AL CONSEJO DE POSTGRADO
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA AGRÍCOLA CON MENCIÓN EN
RIEGO Y DRENAJE**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Iván Navarro Veliz, MSc.

PRESIDENTE

Ing. Fanny Rodríguez Jarama, MSc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Freddy Gavilánez Luna, PhD.

EXAMINADOR PRINCIPAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la vida, conocimientos y virtudes.

Agradezco a mis padres por el apoyo y guía que se transformaron en buenos principios y valores.

A la Universidad Agraria del Ecuador, a sus autoridades, Eco. Martha Bucaram de Jorgge, MS.C., RECTORA de la Universidad.

Al Dr. Freddy Gavilánez Luna, por haberme guiado y dirigido en el presente trabajo.

A los docentes quienes me compartieron sus conocimientos y saberes durante mis años de estudios en las aulas de tan prestigiosa institución.

A Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A. (Ingenio San Carlos), Ing. José Antonio González Bajner, Ing. Augusto Ayala Ayala, quienes me brindaron su apoyo para continuar creciendo profesionalmente y culminar esta formación académica.

Al Ing. Oscar Núñez, quien me han ayudado y guiado durante la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me enseñaron buenos principios, y se sacrificaron por darme el mejor de los estudios, orientándome siempre con sus consejos y buenas costumbres.

RESPONSABILIDAD

La responsabilidad, derecho de la investigación, resultados, conclusiones y recomendaciones que aparecen en el presente Trabajo de Titulación corresponden exclusivamente al Autor/a y los derechos académicos otorgados a la Universidad Agraria del Ecuador.

Ing. Federico Alejandro Salazar Cruz

C. I. 1204507360

RESUMEN

El presente trabajo fue realizado en la hacienda Isabel María, ubicada en el cantón Babahoyo de la provincia Los Ríos – Ecuador. Se seleccionó como área de estudio una superficie de 9.39 hectáreas, desde la cual se recopiló información pertinente para optimizar el uso del recurso agua; de allí que se tuvo como objetivo evaluar el comportamiento del nivel freático, tanto espacial como temporalmente, en los predios de la hacienda Isabel María para programación del riego en caña de azúcar, instalando para ello una red de 10 pozos de observación para la medición de los niveles freáticos. La medición de los niveles freáticos y recolección de muestras del contenido de humedad del suelo se realizó cada ocho días, durante los meses de junio del año 2021 hasta febrero del año 2022. Con la información obtenida se elaboró un hidrograma de la freática y los respectivos mapas de isobatas e isohipsas, además, con la información del contenido de humedad, se pudo determinar la lámina de agua disponible y sus umbrales. Como resultados no se detectó ninguna fuente de alimentación de agua subterránea que sugiera un ascenso con efecto capilar. Se observó un descenso del nivel freático de 1.45 m hasta 2.01 m de profundidad, durante el periodo de evaluación. No se observó una influencia de la freática con la que se pueda elaborar un plan de riego, pero con los datos de humedad del suelo se elaboró una propuesta para aprovechar la lámina disponible y remanente de agua en beneficio al cultivo.

Palabras claves: *hidrograma, isobatas, isohipsas, nivel freático, riego.*

SUMMARY

The present work was carried out at the Isabel María farm, located in the Babahoyo canton of Los Ríos province, Ecuador. An area of 9.39 hectares was selected as the study area, from which relevant information was collected to optimize the use of water resources; hence, the objective was to evaluate the behavior of the water table, both spatially and temporally, in the properties of the Isabel María farm for sugar cane irrigation programming, installing a network of 10 observation wells for the measurement of water tables. The measurement of water tables and collection of soil moisture content samples was carried out every eight days from June 2021 to February 2022. With the information obtained, a water table hydrograph and the respective isobath and isohype maps were prepared, and with the moisture content information, the available water table and its thresholds were determined. As a result, no source of groundwater supply was detected that would suggest a rise with capillary effect. A lowering of the water table from 1.45 m to 2.01 m depth was observed during the evaluation period. No influence of the water table was observed that could be used to develop an irrigation plan, but with the soil moisture data, a proposal was developed to take advantage of the available and remaining water for the benefit of the crop.

Keywords: *hydrograph, isobaths, isohypses, water table, irrigation.*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	9
INDICE DE ANEXOS	12
INDICE DE APENDICES	13
INTRODUCCIÓN	14
Caracterización del tema.....	15
Planteamiento de la situación problemática.	15
Justificación e importancia del estudio.	16
Delimitación del problema.	17
Formulación del problema.....	17
Objetivos.	17
Objetivo general:	17
Objetivos específicos:	17
Hipótesis.....	18
Aporte teórico o conceptual.....	18
Aplicación práctica.	18
CAPÍTULO 1	19
Marco teórico	19
1.1. Estado del arte.....	19
1.1.1. El agua en el suelo y su disponibilidad	20
1.1.2. El agua en el suelo y el mecanismo de retención	21
1.1.3. Movimiento de agua en el suelo	21
1.1.4. Momento óptimo del riego	22
1.2. Bases científicas y teóricas de la temática	22
1.2.1. Taxonomía de la caña de azúcar.....	22

1.2.2. Morfología de la planta de caña de azúcar	22
1.2.3. El suelo y su importancia	24
1.2.3.1. Textura	25
1.2.3.2. Estructura	25
1.2.3.3. Densidad aparente	25
1.2.3.4. Densidad Real.....	26
1.2.3.5. Porosidad	26
1.2.3.6. Potencial del agua en el suelo.....	26
1.2.3.8. Porosidad drenable	27
1.2.3.9. Infiltración	27
1.2.3.10. Ascenso capilar	27
1.2.3.11. Curva de retencion de hídrica	28
1.2.4. Conductividad hidráulica.....	28
1.2.5. Nivel freático	28
1.2.6. Capa freática	29
1.2.7. Recarga de la capa freática	29
1.2.8. Aguas Subterráneas	29
1.2.9. Mapas de aguas subterráneas	30
1.2.9.1. Hidrogramas de niveles freáticos	30
1.2.9.2. Plano de isohipsas	30
1.2.9.3. Plano de isobatas.....	30
1.2.10. Pozos de observación o freatímetros.....	30
1.2.11. Establecimiento de una red de pozos de observación.....	31
1.2.12. Construcción de freatímetros	31
1.2.13. Medición de niveles	32
1.3. Fundamentación legal.....	32

CAPÍTULO 2	34
ASPECTOS METODOLÓGICOS	34
2.1. Métodos	34
2.2.3. Operacionalización de las variables.....	36
2.3. Población y muestra	37
2.3.1. Población	37
2.3.2. Muestra.....	37
2.4. Técnicas de recolección de datos.....	37
2.5. Estadística Descriptiva e Inferencial	38
2.7. Cronograma de Actividades.	39
RESULTADOS	40
DISCUSIÓN	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA CITADA	57
ANEXOS	62
APENDICES	67

INDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Tallo de la caña de azúcar	62
Anexo N° 2. Tabla de Clasificación Textural del USDA.....	62
Anexo N° 3. Relación entre potencial mátrico y contenido de humedad para 3 tipos de suelo	63
Anexo N° 4. Tabla de registro de niveles freáticos en pozos de observación.	64
Anexo N° 5. Tabla de datos meteorológicos hacienda Isabel María	65
Anexo N° 6. Tabla de Lámina de agua disponible.....	66

INDICE DE APENDICES

Mapa Isobata 1. Datos del 23-06-2021	67
Mapa Isobata 2. Datos del 06-07-2021	68
Mapa Isobata 3. Datos del 20-07-2021	69
Mapa Isobata 4. Datos del 03-08-2021	70
Mapa Isobata 5. Datos del 17-08-2021	71
Mapa Isobata 6. Datos del 31-08-2021	72
Mapa Isobata 7. Datos del 14-09-2021	73
Mapa Isobata 8. Datos del 28-09-2021	74
Mapa Isobata 9. Datos del 12-10-2021	75
Mapa Isobata 10. Datos del 26-10-2021	76
Mapa Isobata 11. Datos del 16-11-2021	77
Mapa Isobata 12. Datos del 30-11-2021	78
Mapa Isobata 13. Datos del 14-12-2021	79
Mapa Isobata 14. Datos del 28-12-2021	80
Mapa Isohipsa N° 1. Datos del 23-06-2021.....	81
Mapa Isohipsa N° 2. Datos del 06-07-2021.....	82
Mapa Isohipsa N° 3. Datos del 20-07-2021.....	83
Mapa Isohipsa N° 4. Datos del 03-08-2021.....	84
Mapa Isohipsa N° 5. Datos del 17-08-2021.....	85
Mapa Isohipsa N° 6. Datos del 31-08-2021.....	86
Mapa Isohipsa N° 7. Datos del 14-09-2021.....	87
Mapa Isohipsa N° 8. Datos del 28-09-2021.....	88
Mapa Isohipsa N° 9. Datos del 12-10-2021.....	89
Mapa Isohipsa N° 10. Datos del 26-10-2021.....	90
Mapa Isohipsa N° 11. Datos del 16-11-2021.....	91
Mapa Isohipsa N° 12. Datos del 30-11-2021.....	92
Mapa Isohipsa N° 13. Datos del 14-12-2021.....	93
Mapa Isohipsa N° 14. Datos del 28-12-2021.....	94
Mapa Isohipsa N° 15. Datos del 01-02-2022.....	95
Mapa Isohipsa N° 16. Datos del 15-02-2022.....	96

INTRODUCCIÓN

Leopold (como se citó en Burbano, Becerra y Pasquel, 2015) afirma que el 3% del agua disponible en el globo terráqueo es agua dulce, del cual el 95% está constituido por aguas subterráneas, 3.5% a aguas superficiales y el 1.5% a la humedad que se encuentra acumulada en los suelos. El agua dulce disponible para consumo humano está representada por un 0.36% del total existente en la tierra.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2012) indica que:

“En el ciclo hidrológico mundial, los recursos hídricos renovables suponen 42 000 km³/año. De esta cifra, unos 3 900 km³ se extraen de ríos y acuíferos para consumo humano: unos 2 710 km³ (70%) se destinan al riego, el 19% a la industria y el 11% al uso urbano. Se estima que más del 60% de todas las extracciones de agua vuelve a los sistemas hidrológicos locales a través del caudal de retorno a los ríos o aguas subterráneas. La parte restante se considera como uso consuntivo debido a la evaporación y a la transpiración de las plantas.” (p. 28)

Se estima que en el Ecuador durante la época lluviosa se dispone de aproximadamente 430 000 Hm³ de agua, mientras que para la época seca la disponibilidad de agua desciende a más o menos 150 Hm³. Así mismo se ha estimado que el consumo de agua en el Ecuador es de 9 700 Hm³; para el riego se utiliza un 82% de este volumen, para uso doméstico el 12.5% y para el sector industrial el 5.5%. (Burbano, et al., 2015)

El Ecuador posee zonas donde el agua subterránea es el único recurso para la irrigación de los cultivos y su presencia es relativamente más abundante que las aguas superficiales, pero se las gestionan sin el debido conocimiento científico y técnico, lo cual conlleva a la degradación o no uso del recurso. (Burbano, et al., 2015)

La empresa Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A., conocida como Ingenio San Carlos, cultiva anualmente 19 000 ha de caña de azúcar; de las cuales 1 800 se encuentran ubicadas en el predio Isabel María, en el cantón

Babahoyo. En estos predios se han realizado observaciones preliminares de los niveles freáticos, notándose que el desarrollo del cultivo se detiene cuando se encuentran niveles freáticos altos; no obstante, cuando estos niveles descienden se ha observado un desarrollo normal del cultivo sin la necesidad de irrigar.

Debido a estas observaciones empíricas y comportamiento del cultivo en el predio Isabel María, surge la necesidad de realizar un estudio para analizar los niveles freáticos del suelo, con el propósito de aprovechar dichos niveles e incluirlos en la programación de riego dentro del área de influencia, dado que esta labor es una actividad muy importante en el manejo del cultivo de caña de azúcar. La labor del riego puede representar un porcentaje alto en los costos de producción, por lo cual los ingenios azucareros buscan optimizar el recurso agua, realizando investigaciones que determinen cómo aprovechar las fuentes de aguas disponibles a su alrededor a un menor costo.

Caracterización del tema.

Este estudio se propuso con el fin de describir el comportamiento del nivel freático, tanto de forma espacial como temporal, dentro del predio Isabel María, para definir zonas críticas y de sub-irrigación que podrían ser manejados a través de una programación de riego que permita definir las épocas de aplicación de agua cuando la irrigación es complementaria y/o suplementaria.

Se ubicaron pozos de observación en los cuales se valoró el nivel freático con cierta frecuencia para elaborar mapas de isobatas e isohipsas que permitan delimitar zonas potenciales de sub-irrigación y direcciones de los flujos freáticos, así como hidrogramas de freática para establecer las épocas de necesidad de riego del cultivo; todo lo cual al final, sirvió para delinear una programación del riego para la hacienda Isabel María.

Planteamiento de la situación problemática.

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] indica que el Ecuador, en el año 2019, tuvo una superficie de 121 812 hectáreas de caña de azúcar aproximadamente, las mismas que son cultivadas por diversos ingenios

azucareros y productores o cañicultores, de las cuales a través de su procesamiento se obtiene azúcar, etanol y otros derivados (INEC, 2020).

Un nivel freático a escasa profundidad puede constituir un serio problema para la producción agrícola, pero en ciertos casos le puede favorecer. Sobre el nivel freático se forma una franja capilar cuyo espesor lo determina la porosidad drenable del suelo, de esta franja las plantas pueden extraer agua de ella (Borin, 1990; Ayars, et al., 1999; Chandra, 2001). Por lo tanto, el sistema radicular puede aprovechar el agua disponible, caso contrario, dificulta su respiración. Esta condición depende del espesor de la lámina y su ubicación (Wind, 1955; Oosterbaan, 1994).

El Ingenio San Carlos busca optimizar sus recursos económicos y mejorar su productividad, a través de la implementación de nuevas tecnologías y desarrollo de investigaciones. El predio Isabel María, ubicado en Babahoyo, provincia Los Ríos, carece de información científica que ayude a tomar decisiones para optimizar los recursos, por ello surge la necesidad de realizar un estudio de niveles freáticos con la finalidad de determinar si el agua existente en el subsuelo puede ser aprovechada como una alternativa de sub-irrigación en el cultivo de caña de azúcar.

Justificación e importancia del estudio.

El determinar los niveles freáticos en el suelo y su comportamiento, permitirá identificar el tiempo en el que la planta podría absorber agua por capilaridad, según su profundidad radicular; permitiendo posteriormente establecer el ciclo de riego idóneo para el cultivo.

La importancia de este estudio radica en el aprovechamiento del riego subterráneo que se podría lograr con el manejo eficaz de los niveles freáticos, permitiendo optimizar los costos operativos de esta labor. En este caso, el valor del riego constituye el 30% de la estructura de costos de producción en el cultivo de caña de azúcar, para el Ingenio San Carlos. De allí que, la identificación de los niveles freáticos y el establecimiento del ciclo de riego reduciría los costos operacionales para el cultivo de caña de azúcar.

Delimitación del problema.

La investigación se llevó a cabo en la hacienda “Isabel María” de propiedad de la compañía Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A., el cual se encuentra ubicado en el cantón Babahoyo de la provincia Los Ríos.

Específicamente el área de estudio estuvo compuesta de 9.39 ha, dentro de la cual se colocó una red de pozos de observación para evaluación del nivel freático desde el mes de junio del 2021 hasta febrero del 2022.

Formulación del problema.

Dentro del contexto descrito, ¿será posible establecer una programación de riego para el cultivo de caña de azúcar, determinando el comportamiento del nivel freático en el suelo del predio Isabel María?

Objetivos.

Objetivo general:

Evaluar el comportamiento del nivel freático, tanto espacial como temporalmente, en los predios de la hacienda Isabel María para programación del riego en caña de azúcar.

Objetivos específicos:

Identificar las zonas potenciales de sub-irrigación a través de mapas temáticos de isobatas, y su correspondiente influencia en la capilaridad del suelo.

Definir los hidrogramas de nivel freático que permitan su monitoreo en el tiempo, así como las curvas de isohipsas que facilitarán la identificación de la dirección de los flujos subterráneos.

Elaborar un plan de riego para caña de azúcar según el comportamiento de la freática en el área de estudio.

Hipótesis

Por el fundamento de observaciones cualitativas previas respecto del cultivo en cuanto a su demanda hídrica dentro del área de estudio, se prevé un abastecimiento hídrico de forma subterránea para el cultivo de caña de azúcar, durante al menos media temporada de riego; con lo cual puede realizarse una programación de esta actividad.

Aporte teórico o conceptual.

El desarrollo de este estudio permitirá reforzar ciertos fundamentos teóricos relacionados al drenaje que están inmersos dentro de la movilidad del nivel freático, de allí que se constituya una guía metodológica para aprovechamiento del agua como sub-irrigación.

Aplicación práctica.

La información obtenida en el aporte conceptual de este estudio servirá para ejecutar un modelo de riego idóneo para las unidades de producción del predio Isabel María y al mismo tiempo impulsará su aplicación en los casos particulares de otras haciendas pertenecientes al Ingenio San Carlos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEORICO

1.1. Estado del arte

González (2020) en el informe anual del Centro de Investigación Nacional de Caña de Azúcar del Ecuador (CINCAE) afirma lo siguiente:

El mundo está viviendo tiempos de cambios y desafíos. La industria azucarera no es la excepción y estamos comprometidos a mejorar nuestros sistemas de producción para hacer de esta agroindustria una actividad sustentable en lo económico, social y ambiental. Son varios los cambios e innovaciones que se han efectuado en lo agronómico e industrial, lo cual nos ha permitido mejorar los niveles de producción de caña y rendimiento azucarero. (p. 1)

Castillo (2020) indica que las condiciones climáticas del año 2019 fueron favorables para la producción de caña de azúcar. El promedio de toneladas de caña por hectárea (TCH) fue 77.9 TCH en los ingenios, lo cual superó el promedio del 2018.

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia [CENICAÑA], (2015) indica que la producción de caña disminuye hasta en 35 t/ha, cuando el nivel freático permanece durante todo el periodo de levante del cultivo a una profundidad menor de 80 cm.

La tasa de respiración de las raíces en la planta de caña de azúcar se ve afectada cuando existe exceso de humedad en el suelo, que produce una reducción del contenido de oxígeno presente en este. Si durante el periodo de rápido crecimiento, la planta de caña creciera bajo esta condición, se produce un atraso en su desarrollo vegetativo y, por consiguiente, una disminución en la producción. (CENICAÑA, 2015)

Desde muchos años atrás se viene estudiando el fenómeno de capilaridad, lo cual ha incentivado investigaciones referidas al flujo de líquidos a través de medios porosos. (Wiliski G, 2014)

Benítez (2013) manifiesta que las aguas freáticas se encuentran en el

suelo por consecuencia de la saturación, y se localizan debajo del nivel freático. Esta tabla de agua tiene a variar en la época seca, por los procesos de evaporación y evapotranspiración.

Villón (2013) indica que la tabla de agua experimenta oscilaciones en su altura, elevándose después de un evento de lluvia o riego y disminuyendo su altura en época seca, es decir que nunca se mantiene estática.

Argel (2012), citado por Vasquez (2017), indica que en los pozos de observación se deben tomar datos de niveles freáticos con una frecuencia de dos a tres veces por mes.

Núñez, et al. (2009), indica que la lamina de agua rápidamente aprovechable para suelos francos y arenos es el 50% de la lamina de agua almacenada, la cual se encuentra retenida entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente, mientras que para los suelos arcillosos la lamina de agua rápidamente aprovechable es el 40%.

1.1.1. El agua en el suelo y su disponibilidad

El almacenamiento de agua en el suelo y como su distribución en la zona radicular es de gran importancia para el crecimiento, manejo y producción de un cultivo. A través de la implementación del riego, se busca reponer al suelo la cantidad de agua perdida por evaporación y transpiración; esto con la finalidad de brindar al cultivo óptimas condiciones de humedad para su buen desarrollo. (Vásquez, et al., 2017)

Gavilánez (2020) manifiesta que el contenido de humedad o agua útil disponible para las plantas es aquella que se encuentra comprendida entre los puntos de capacidad de campo y de marchitez permanente.

Si el contenido de humedad del suelo excediera a la capacidad de campo, existe la posibilidad que la falta de aire en el suelo sea un limitante para el desarrollo normal de las plantas. (Vásquez, et al., 2017)

1.1.2. El agua en el suelo y el mecanismo de retención

Vásquez, et al. (2017) menciona que el suelo está formado por elementos o partículas sólidas de diferentes diámetros, tamaños y diferente composición química, las cuales forman espacios porosos entre ellas. Estos espacios porosos se encuentran ocupados por aire, agua o por ambos elementos en diferentes proporciones. El suelo posee cargas positivas y negativas, según los elementos que este contenga.

El agua en el suelo se encuentra retenida por tres tipos de fuerzas basadas en fenómenos capilares y electromagnéticos, y su totalidad crecerá en forma inversamente proporcional al contenido de humedad. Estas fuerzas se las identifican como de adhesión, de cohesión y de adsorción. (Gavilánez, 2020)

1.1.3. Movimiento de agua en el suelo

Vásquez, et al. (2017), manifiesta que el proceso de entrada de agua a la zona radicular resultante de la lluvia, el riego, ascensión capilar, así como los procesos de salida sean a través de la percolación, transpiración o evaporación, representan los casos de importancia del movimiento del agua en el suelo. Para gran parte de los cultivos, la zona radicular corresponde al estrato no saturado del suelo; y en este se presentan fenómenos relacionados con el movimiento del agua en los suelos no saturados.

- Infiltración.
- Filtración del agua por debajo de la zona radicular.
- Redistribución del agua en el suelo, durante y después del proceso de infiltración.
- Movimiento del agua en el suelo hacia las raíces.
- Ascenso capilar del agua desde el nivel freático.
- Evaporación del agua desde la superficie del suelo.

1.1.4. Momento óptimo del riego

El momento óptimo de riego se encuentra representado por el máximo porcentaje del volumen de agua disponible en la zona radicular, y que un cultivo pueda aprovechar al máximo su potencial sin disminuir su rendimiento. El nivel de agua disponible y aprovechable para la planta depende de diversos factores como: la textura del suelo, tipo de cultivo, pendiente del terreno, nivel de salinidad y del sistema de riego que se emplee (Vásquez, et al., 2017).

Por otro lado, Vásquez, et al. (2017) indican que conocer el momento óptimo en que se debe aplicar el riego es fundamental para su planificación; es decir, que permitirá determinar el volumen de agua que se necesita y la frecuencia con la que se debe aplicar, así como también sirve para dimensionar la capacidad de conducción y distribución del agua a través de un sistema de riego. “Es esencial conocer la respuesta de un cultivo a los diferentes niveles de humedad y en cada uno de los estadios fisiológicos, ya que cada cultivo muestra una respuesta diferente al riego.”

1.2. Bases científicas y teóricas de la temática

1.2.1. Taxonomía de la caña de azúcar

Bakker (2011) indica que la caña de azúcar pertenece a la familia *Gramineae* (gramíneas), y es considerado como un pasto gigante. Su género es *Saccharum*. Las variedades existentes son dos silvestres y cuatro domesticadas.

Especies silvestres: *Saccharum spontaneum* L.; *Saccharum robustum*

Especies domesticadas: *Saccharum officinarum*, *Saccharum edule*,
Saccharum Barberi, *Saccharum sinense*

1.2.2. Morfología de la planta de caña de azúcar

La caña de azúcar se propaga a partir de esquejes con un número limitado de brotes, cada una de las cuales puede convertirse en un tallo principal, es decir que su propagación es vegetativa. De los brotes axilares o yemas adventicias,

que se encuentran en la parte inferior del vástago primario, pueden producirse tallos secundarios y terciarios (Bakker, 2011).

Fiallos (2008) manifiesta que el tallo de la planta de caña de azúcar puede llegar a medir de dos hasta cinco metros de altura, con un diámetro de cinco a seis centímetros. El sistema radicular está compuesto por un robusto rizoma subterráneo; el cual puede servir como método de propagación. En el tallo se almacenan los azúcares, por lo que se considera el órgano más importante de la planta. El número, diámetro, color y hábito de crecimiento dependen de la variedad.

Ranjel, et al. (2013) indican que el tallo de la planta de caña de azúcar está formado por anillos de crecimiento, también llamados nudos, donde se desarrollan las yemas y las hojas. ***Ver Anexo N° 1. Tallo de la caña de azúcar***

El sistema radicular está formado por dos tipos de raíces, la primera conocida como raíz primordial o de la estaca original y la segunda conocida como raíces permanentes o de los brotes nuevos de rápido crecimiento. (Silva, 2003)

Blackburn (como se citó en Amaya, A., et.al, 1995) , indica que dentro de los primeros 60 cm de profundidad predominan las raíces supercificiales, y su distribución horizontal puede llegar alcanzar hasta dos metros. Mientras que Paz-Vergara, et al.(1980), mencionan en su evaluación del desarrollo radicular, que encontró un 85% de las raíces a los primeros 60 cm de profundidad.

La inflorescencia está compuesta por una panícula sedosa con forma de espiga, la cual está compuesta por un eje principal con articulaciones insertadas de espiguillas una frente a otra, y tienen una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas (Fiallos, 2008).

Fiallos (2008), indica que la hoja se forma en los nudos y se distribuye en posiciones alternas en toda la longitud del tallo. La hoja está compuesta por la lámina foliar y por la vaina, y la unión entre estas partes se denomina lígula, en cuyo extremo existe una aurícula con pubescencia variable.

1.2.3. El suelo y su importancia

Angella, Frias, y Salgado (2016) mencionan lo siguiente sobre la importancia del suelo.

El suelo es el depósito de almacenamiento de agua, aire y nutrientes desde donde las plantas los extraen. La capacidad de almacenamiento y la disponibilidad para las plantas depende de las cantidades existentes y de las características de cada suelo. Por lo tanto, es necesario conocer cómo están constituidos los suelos y las fuerzas que actúan en la retención y movimiento del agua. (p.3)

Vásquez, et al. (2017) sin embargo menciona que el suelo es un sistema heterogéneo, formado por elementos sólidos, líquidos y gaseosos. Dentro de los elementos sólidos encontramos los minerales y orgánicos. Cada tipo de suelo se define por sus propiedades físicas adquiridas a través de los años (evolución), y por el manejo que este haya recibido. Esto concede la capacidad de poder satisfacer las necesidades de las plantas durante las etapas de crecimiento y desarrollo.

Dentro de las propiedades físicas del suelo, más relevantes, tenemos:

- Textura
- Estructura
- Densidad aparente
- Densidad real
- Porosidad
- Potencial del agua en el suelo
- Fuerzas de retención del agua en el suelo
- Porosidad drenable
- Infiltración
- Ascenso capilar
- Capacidad de retención de Humedad

1.2.3.1. Textura

Los elementos que constituyen el suelo tales como arena, limo y arcilla, representan la textura de un suelo, según el porcentaje en el que estén presentes en el suelo. Se caracteriza a un suelo con buena textura, cuando los elementos que lo conforman brindan a la planta un soporte capaz de favorecer su fijación radicular y su nutrición (Rucks, Garcia, Kaplan, Ponce de Leon, y Hill, 2004).

FAO (2014) menciona que la textura de un suelo señala el contenido relativo de partículas presente, ya sean estas de diferente tamaño, como la arena, limo y arcilla. La textura destaca la facilidad con la que se puede trabajar un suelo, el contenido de agua y aire que retiene, y la velocidad de infiltración que esta posee. *Ver Anexo N° 2. Tabla de Clasificación Textural del USDA*

1.2.3.2. Estructura

Por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla, se definen la estructura de un suelo. Los agregados se definen como la agrupación de las partículas individuales, tomando un aspecto de partículas mayores. La fuerza con la que estos agregados se fijan depende de la cohesión dentro de ellos, de la adhesión y del contenido de humedad (Angella, et al., 2016).

La estructura del suelo puede clasificarse de la siguiente manera:

- Estructura granulares
- Estructuras en bloques
- Estructuras prismáticas
- Estructuras laminares

1.2.3.3. Densidad aparente

Gavilánez (2020) menciona que la densidad aparente es la relación que existe entre el peso seco de una muestra de suelo a 105°C y el volumen ocupado, incluyendo su espacio poroso.

1.2.3.4. Densidad Real

La densidad real o también llamada densidad de partícula, se define como la relación entre el peso seco de una muestra de suelo y el volumen ocupado por dicha muestra, sin incluir el espacio poroso de este. (Gaviláñez, 2020)

Uno de los factores que afecta a la densidad aparente es la compactación, entre más compactado se encuentra un suelo, más alta es su densidad y más reducido se encuentran los espacios porosos. (Assan y Gorosito, 2018)

1.2.3.5. Porosidad

Assan y Gorosito (2018) define la porosidad de un suelo como el volumen total del mismo menos el volumen de su fase sólida. También se lo puede expresar como la fracción del volumen del suelo no ocupado por la parte sólida, o en otras palabras, es la suma total de los espacios ocupados por el aire y agua.

1.2.3.6. Potencial del agua en el suelo

El potencial hídrico total del suelo se denomina a la cantidad de fuerza con la que el agua es retenida por el suelo, y que depende del contenido hídrico de este, mientras menor sea el contenido hídrico, mayor será la cantidad de trabajo requerida para su extracción. (Angella, et al., 2016)

Lafi, et al. (2011) define al potencial hídrico como:

“La cantidad de trabajo que debe hacerse por unidad de agua pura para transportar reversible e isotérmicamente una cantidad infinitesimal de agua desde un reservorio situado a una altura elegida arbitrariamente que contiene agua pura sometida a la presión atmosférica, hasta el suelo en el punto considerado” (p.15).

1.2.3.7. Fuerzas de retención del agua en el suelo

El agua en el suelo está retenida por la acción de varias fuerzas como gravedad de la tierra, tensión superficial, entre otras. Estas fuerzas, actuando sobre el agua del suelo, son la causa de que la misma sea adsorbida, retenida, transferida, drenada, evaporada o transpirada. (Angella, et al., 2016)

De acuerdo con Gavilánez (2020), indica que existen 3 tipos de fuerzas basadas en fenómenos capilares y electromagnéticos, las cuales son: fuerzas de adhesión, de cohesión (tensión superficial) y fuerzas de adsorción.

1.2.3.8. Porosidad drenable

Salgado (2011) menciona que “el espacio poroso drenable es el volumen de agua que pierde un acuífero no confinado (freático) desde un volumen de suelo que tiene una unidad de área por una unidad de disminución (abatimiento) del nivel freático” (p.34).

La porosidad drenable, también se la conoce como porosidad efectiva o macroporosidad, y se define como cantidad de agua que puede ser drenada de un volumen de suelo saturado por efecto de la gravedad cuando existe un gradiente potencial. (Gavilánez, 2020)

1.2.3.9. Infiltración

De acuerdo con Angella, et al. (2016) el proceso de infiltración se define como la incorporación del agua al suelo, desde la superficie hacia las capas más profundas; mediante efectos naturales, ya sea por lluvia o anegamiento, o también puede ser provocado por el hombre a través de los distintos métodos de riego superficial como son: inundación, gravedad, aspersión o goteo.

1.2.3.10. Ascenso capilar

Müller (2012), en su publicación sobre el ascenso capilar del agua indica que el concepto capilaridad “es el fenómeno debido a la tensión superficial que confiere a los fluidos la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar. Mientras mayor es el diámetro del capilar menor es la altura que alcanza el fluido” (p. 5). Desde el punto de vista agronómico, la capilaridad de los suelos sería la capacidad que tiene el agua de ascender a través pequeños conductos capilares formados por orificios intersticiales del suelo.

1.2.3.11. Curva de retención de hídrica

Angella, et al. (2016) indica que una curva de retención hídrica se denomina a la relación entre el potencial mátrico del suelo con el contenido de humedad. El potencial hídrico total determina la mayor o menor dificultad con la que las raíces pueden absorber el agua disponible en el suelo. Mientras más seco se encuentra el suelo, el potencial se hace más negativo y aumenta la dificultad de las raíces para absorber agua.

Ver Anexo N° 3. Relación entre potencial mátrico y contenido de humedad para 3 tipos de suelo

1.2.4. Conductividad hidráulica

Ortegón (2004) menciona que la conductividad hidráulica “es la medida del flujo del agua a través de los poros del suelo. Se representa por la letra K, sus unidades más frecuentes son m/día o cm/día. Su valor se emplea para calcular el espaciamiento entre drenes” (p.129).

Liotta, et al. (2015) señala que la conductividad hidráulica es conocida también como permeabilidad, la cual indica el grado o facilidad con que el agua fluye y se desplaza a través del manto saturado. Esta depende de las características del suelo como forma, tamaño y disposición de los poros. Además, es un parámetro básico para determinar el espaciamiento entre drenes.

1.2.5. Nivel freático

El nivel freático se define al lugar geométrico de puntos del suelo donde la presión de agua es igual a la atmosférica. También representa el nivel geométrico que alcanza la superficie del agua en los pozos de observación. Por debajo del nivel freático las presiones neutras son positivas. Para condiciones estáticas del agua, el nivel freático se lo representa de forma horizontal. El nivel freático varía con respecto a las precipitaciones, presión atmosférica y las mareas. (Angelone, Garibay y Marina, 2006)

1.2.6. Capa freática

Es la primera capa de agua subterránea que se encuentra al realizar una perforación y la más susceptible a la contaminación antrópica, también denominada zona de agua freática. Esta constituye el acuífero libre y se extiende en profundidad hasta alcanzar un nivel más impermeable. La capa acuífera está en contacto vertical directo con la atmósfera a través de la zona de aireación y se encuentra sometida solamente a la presión atmosférica, sin tener un estrato confinante superior. La profundidad de la capa freática varía con el medio geológico, comprendiendo desde algunos centímetros hasta varias decenas de metros, según la región (Custodio, 1993).

1.2.7. Recarga de la capa freática

La recarga de la freática se identifica como la parte del agua que llega a formar parte del manto freático, ya sea ésta producto de una lluvia o del riego excesivo. La recarga también puede relacionarse con acuíferos confinados o semiconfinados en los que se sostiene al agua con carga hidráulica y a consecuencia de ello se pueden evidenciar incrementos del nivel freático. (Gavilánez, 2020)

1.2.8. Aguas Subterráneas

Ordoñez (2011) indica que el agua subterránea “es aquella parte del agua existente bajo la superficie terrestre que puede ser colectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones a los cursos fluviales” (p.9).

Rebollo y Martin-Loeches (2007) manifiestan que el agua subterránea es aquella que se encuentra en el subsuelo; está almacenada y circula a través de las formaciones geológicas. Las aguas subterráneas se originan a través de las precipitaciones, y esta puede ser de forma directa o indirecta, ya sea por infiltración a través del suelo, o tras un cierto tiempo de permanencia en la superficie, respectivamente.

1.2.9. Mapas de aguas subterráneas

Dentro de la caracterización de planos o mapas de aguas subterráneas podemos ubicar los siguientes:

1.2.9.1. Hidrogramas de niveles freáticos

De acuerdo con Ortegón (2004), los hidrogramas consisten en la representación gráfica de las variaciones del nivel freático con respecto al tiempo.

Los hidrogramas muestran las profundidades temporales que el nivel freático alcanza, y determinar si estas pueden afectar el desarrollo normal de los cultivos, como también permiten identificar si alguna aplicación de riego ha sido ineficiente (Gaviláñez, 2020).

1.2.9.2. Plano de isohipsas

Ortegón (2004), indica que los mapas de isohipsas, también conocidas como curvas de igual cota del nivel freático, permiten conocer la dirección del flujo freático, su gradiente hidráulico, las zonas de recarga y de descarga del área. Las cotas del nivel freático se calculan para punto de observación y se obtiene de la diferencia entre la cota de la superficie del terreno y la profundidad del nivel freático respectivo.

1.2.9.3. Plano de isobatas

Los mapas de isobatas o también denominados curvas de igual profundidad del nivel freático, permiten delimitar las áreas que requieren drenaje, es decir aquellas zonas que permanecen afectadas por niveles freáticos superficiales durante períodos prolongados (Ortegón, 2004).

1.2.10. Pozos de observación o freatómetros

Un pozo de observación consiste en realizar una perforación en el suelo hasta una profundidad tal que exceda el nivel freático mínimo esperado (Salgado, 2001).

1.2.11. Establecimiento de una red de pozos de observación

La distribución de los pozos de observación debe ser establecidos en cuadrícula o rectángulo, o por concentración según con las áreas críticas que se desea investigar. Los pozos deben ser colocados en sitios de fácil acceso, evitando que queden cerca de drenajes, ríos, esteros, canales, pozos de bombeo y vías de tránsito, con la finalidad de prevenir su destrucción u obstrucción. (Cruz, 1995)

De acuerdo con Ortegón (2004), se debe instalar un freatómetro por cuatro hectáreas, buscando un cubrimiento total del área bajo estudio, centrándose en los sectores donde el reconocimiento de campo y el análisis del plano topográfico prevengan sobre la existencia de problemas. Los pozos de observación deben quedar identificados en el campo y ubicados en el plano georreferenciado, con su respectiva cota.

1.2.12. Construcción de freatómetros

Los pozos de observación pueden ser construidos entre dos a tres metros de profundidad, para su ello se usan tubos PVC de 50 a 75 mm y se perforan o ranuran en aproximadamente tres cuartas partes de su longitud para facilitar la entrada y salida del agua. Los freatómetros se instalan en perforaciones de diámetro ligeramente superior al tubo, el espacio entre la pared del tubo y la pared del agujero se debe rellenar con gravilla hasta unos 30 cm antes de la superficie del terreno y luego se rellena con arcilla compactada la parte superior. (Ortegón, 2004)

De acuerdo con Salgado (2001), recomienda que los pozos de observación se establezcan paralelo y perpendicularmente a la dirección del flujo esperado. En lugares donde puede esperarse un cambio en la pendiente del nivel freático. En zonas donde puedan existir cambios en la cota del nivel freático. Paralelo y perpendicular con respecto a otras fuentes hídricas. En áreas donde se prevean niveles freáticos altos.

1.2.13. Medición de niveles

Ortegón (2004) menciona que la persona designada para la lectura de los freatómetros debe estar capacitada, para garantizar la confiabilidad de las medidas. La frecuencia de las lecturas debe ser entre 8 y 15 días dependiendo de las recargas. Las lecturas del nivel freático deben registrar adecuadamente para cada fecha y también se debe anotar la cota del nivel del terreno de cada sitio donde se instalen los freatómetros.

Liotta,(2015) indica que existen dos métodos para medir los niveles freáticos en un pozo. El primero de ellos es con una sonda graduada que posee un sensor en su extremo inferior, el cual al momento de ponerse en contacto con el agua se enciende un indicador de luz y emite un sonido. El segundo método es con una cinta métrica que se introduce hasta el final del pozo y luego se descuenta el tramo en que la cinta se encuentra mojada.

1.3. Fundamentación legal.

De acuerdo con la Constitución de la Republica del Ecuador (2008), publicada en el Registro Oficial No. 449 el día 20 de octubre de 2008, en el capítulo segundo sobre derechos del buen vivir, dentro de la sección segunda – Ambiente sano, manifiesta que:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

La Constitución de la Republica del Ecuador (2008), publicada en el Registro Oficial No. 449 el día 20 de octubre de 2008, en el Título VII sobre regimen del buen vivir, dentro del capitulo segundo, manifiesta que:

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Según la LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA (2014), publicada en el Registro Oficial

Suplemento 305 el día 06 de agosto del 2014, manifiesta lo siguiente:

Art. 40.- Principios y objetivos para la gestión del riego y drenaje. El riego y drenaje es un medio para impulsar el buen vivir o sumak kawsay. La gestión del riego y drenaje se regirán por los principios de redistribución, participación, equidad y solidaridad, con responsabilidad ambiental.

Los objetivos son:

- a) Ampliar la cobertura y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego en función del cambio de la matriz productiva;
- b) Posibilitar el incremento de la productividad y la diversificación productiva;
- c) Fortalecer la gestión pública y comunitaria de riego;
- d) Impulsar la modernización y tecnificación del riego;
- e) Promover el manejo, conservación y recuperación de suelos;
- f) Favorecer la generación de empleo rural; y,
- g) Garantizar la calidad y cantidad de agua para riego.

Art. 84.- Obligaciones de corresponsabilidad. El Estado en sus diferentes niveles de gobierno es corresponsable con usuarios, consumidores, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades del cumplimiento de las siguientes obligaciones:

- a) Reducir la extracción no sustentable, desvío o represamiento de caudales;
- b) Prevenir, reducir y revertir la contaminación del agua;
- c) Vigilar y proteger las reservas declaradas de agua de óptima calidad;
- d) Contribuir al análisis y estudio de la calidad y disponibilidad del agua;
- e) Identificar y promover tecnologías para mejorar la eficiencia en el uso del agua;
- f) Reducir el desperdicio del agua durante su captación, conducción y distribución;
- g) Adoptar medidas para la restauración de ecosistemas degradados;
- h) Apoyar los proyectos de captación, almacenamiento, manejo y utilización racional, eficiente y sostenible de los recursos hídricos; y,
- i) Desarrollar y fomentar la formación, la investigación científica y tecnológica en el ámbito hídrico.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. Métodos

Los métodos teóricos sobre los cuales se rigió este estudio son el deductivo e inductivo. El primero para la fundamentación de la propuesta y elaboración del documento, en el cual se pretendía aprovechar de forma eficaz los niveles freáticos como un medio de sub-irrigación para caña de azúcar. Posteriormente, a partir de los resultados observados dentro del área de estudio, se pudo inducir aspectos generalizables del manejo de la freática como alternativa de riego subterráneo, cumpliéndose así el método de inducción.

Este estudio también tuvo una base empírica – analítica ya que se fundamenta en datos observacionales evaluados en campo que luego fueron analizados para estructurar una alternativa de programación de riego en función de la movilidad de la freática.

2.1.1. Modalidad y tipo de investigación

Dado el carácter de esta propuesta, cuya evaluación de las expresiones de los fenómenos se realizó de forma objetiva, se considera que el estudio tiene modalidad cuantitativa; enmarcada dentro de un tipo de investigación descriptiva – observacional, ya que no se tuvo injerencias en factores de comportamiento independiente.

2.2 Variables

2.2.1. Variable independiente

En este estudio se consideró como variable independiente de tipo observacional la movilidad de la freática, ya que es a partir de su evaluación desde donde se pudo establecer las variables dependientes que permitieron responder a los objetivos planteados.

222. Variables dependientes

Para cumplir con los objetivos propuestos, este estudio tuvo que valorar las siguientes variables:

Isobatas de freática

Isohipsas de freática

Hidrograma de freática

Perfil de humedad a la profundidad radicular efectiva

Ciclo de Riego

La operacionalización de cada una de estas variables se indica a continuación:

2.23. Operacionalización de las variables

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Tipo de medición	Instrumentos de medición
Movilidad de la freática	Variable de tipo independiente para el estudio, descriptiva u observacional, medida en el tiempo y en el espacio.	Nivel freático	Profundidad del nivel en metros	Cuantitativa	Pozo de observación y sonda acústica
Isobatas de freática	Esta variable es considerada como dependiente del comportamiento del nivel freático y corresponde a curvas de igual profundidad de la freática medida desde el nivel del suelo.	Perfiles de profundidad de la freática	Profundidad de la freática	Cuantitativa	Pozo de observación y sonda acústica
Isohipsas de freática	Es una variable también dependiente del nivel freático y corresponde a las curvas de igual cota de freática que servirán para verificar la dirección de los flujos subterráneos.	Niveles freáticos	Cotas de nivel freático	Cuantitativa	Pozo de observación y sonda acústica
Hidrograma de freática	Es una variable dependiente de la movilidad de la freática que será tangible al confrontar la movilidad del nivel freático con el tiempo de manera longitudinal.	Niveles freáticos y tiempo	Cotas de nivel freático y periodos en días	Cuantitativa	Pozo de observación y sonda acústica
Perfil de humedad a la profundidad radicular efectiva	Con esta variable se verificará los potenciales efectos de capilaridad que podrían generar los niveles freáticos y que podrían ser aprovechados en sub-irrigación.	Humedad del suelo	Humedad gravimétrica	Cuantitativa	Barrenos y equipos porta-muestras
Ciclo de riego	Definido como el periodo de cultivo que requerirá riego suplementario desde el momento que no hay un aporte subterráneo de agua de la freática.	Periodo de riego	Periodo de riego	Cuantitativa	Pozo de observación, sonda acústica, barrenos y equipos porta-muestras

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

La superficie total bajo observación fue de 9.39 hectáreas, en las cuales se distribuyeron de forma simétrica diez freatímetros, considerando que se deben ubicar a un distanciamiento mínimo de 15 metros de cualquier acequia, drenes y desagües (Cruz, 1995).

2.3.2. Muestra

Se recolectó datos cada ocho días de los niveles freáticos, de los diez pozos de observación instalados y se realizó la recolección de muestras de contenido de humedad del suelo, cada ocho días.

Las muestras de contenido de humedad del suelo se tomaron con un barreno, obteniendo cinco submuestras por cada 20 cm de suelo hasta llegar a un metro de profundidad. Estas muestras se recolectaron por cada pozo de observación.

2.4. Técnicas de recolección de datos

El nivel freático se lo midió con una sonda de niveles cada 8 días, tratando de que la toma sea en el mismo horario y registrado en una bitácora de datos.

Para el muestreo de contenido de humedad se realizó por hectárea, cinco barrenazos (submuestras) por cada 20 cm de suelo, hasta llegar a una profundidad de 0.90 m. Las muestras fueron transportadas en envases herméticos hasta su entrega en el laboratorio.

Se elaboraron los mapas de isohipsas, en el programa QGIS, con los datos obtenidos en campo para identificar las curvas de igual cota del nivel freático, permitiendo conocer la dirección del flujo de agua. Las cotas de nivel freático se calcularon con la diferencia de cotas entre el nivel superficial del terreno y la profundidad del nivel freático.

Para la elaboración de mapas de isobatas, se utilizó el software QGIS, y se registraron los pozos de observación y las mediciones tomadas como capas

independientes, para luego realizar el mapa de isobatas en el área de estudio, en el que se determinará los puntos de igual profundidad de la freática.

Se elaboraron hidrogramas de la freática, utilizando el software Soil Water Characteristics versión 6.02.74. y el software Microsoft Excel, para la elaboración de las gráficas del hidrograma y registro de base de datos.

Se elaboraron gráficas para identificar la capacidad de campo a una profundidad de 40 centímetros, esto con los datos obtenidos del análisis de contenido de humedad.

El procesamiento de los datos, la elaboración de los hidrogramas, mapas de isobatas y mapas de isohipsas, se realizaron con datos promediados cada 15 días.

2.5. Estadística Descriptiva e Inferencial

Por su carácter observacional, este estudio utilizó estimadores estadísticos descriptivos para representar los diferentes valores de profundidad de freática y cotas de freática dentro del predio. Además, se elaboró una serie temporal del comportamiento de la freática durante el tiempo de estudio para identificar el momento oportuno de aplicación del riego.

2.7. Cronograma de Actividades.

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7				MES 8				MES 9				MES 10				MES 11				MES 12			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Elaboración Del Proyecto	X	X	X	X																																												
Revisión del Proyecto			X	X																																												
Aprobación del proyecto					X																																											
Preparación de Materiales	X	X																																														
Implementación de pozos de observación			X																																													
Toma de datos			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X												
Procesamiento de datos							X			X				X				X				X				X				X				X														
Análisis de datos							X			X				X				X				X				X				X				X														
Elaboración del borrador de la tesis																																	X	X														
Revisión y corrección del borrador																																					X											
Presentación final de la tesis																																									X							
Sustentación de la tesis																																													X			

RESULTADOS

Descripción textural e hidrofísica de los pozos de observación.

En la tabla 1 se muestra el perfil litográfico de cada pozo de observación, con profundidades que van desde cero metros hasta dos metros. La toma de datos se realizó el 22 de junio del 2021. Con ello se pudo identificar el tipo de suelo predominante de la zona de estudio el cual es arcilloso y muestra distintos porcentajes de contenido de arcilla, limo y arenas.

Tabla N° 1. Textura de suelo desde 0 metros hasta 2 metros de profundidad.

N° POZO	Profundidad (cm)	Arcilla %	Limo %	Arena %	Textura
Pozo # 1	0-20	45	36	19	Arcilloso
	20-70	54	30	16	Arcilloso
	70-110	59	26	15	Arcilloso
	110-160	38	45	17	Franco - Limo - Arcilloso
	160-200	50	33	17	Arcilloso
Pozo # 2	0-70	48	33	19	Arcilloso
	70-120	63	18	19	Arcilloso
	120-200	68	17	15	Arcilloso
Pozo # 3	0-20	44	35	21	Arcilloso
	20-160	47	32	21	Arcilloso
	160-200	56	28	17	Arcilloso
Pozo # 4	0-130	53	31	17	Arcilloso
	130-170	77	9	14	Arcilloso
	170-200	76	8	16	Arcilloso
Pozo # 5	0-40	47	34	19	Arcilloso
	40-60	53	30	17	Arcilloso
	60-160	49	34	17	Arcilloso
	160-200	51	30	19	Arcilloso
Pozo # 6	0 - 20	48	34	19	Arcilloso
	20 - 70	55	28	17	Arcilloso
	70 - 80	61	22	17	Arcilloso
	80 - 110	61	21	18	Arcilloso
	110 - 130	74	12	15	Arcilloso
	130 - 200	47	36	17	Arcilloso
Pozo # 7	0 - 20	43	33	24	Arcilloso
	20 - 70	46	32	22	Arcilloso

	70 - 80	50	33	17	Arcilloso
	80 - 110	51	33	15	Arcilloso
	110 - 160	43	40	17	Arcillo - Limoso
	160 - 200	24	45	31	Franco
Pozo # 8	0 - 30	51	27	23	Arcilloso
	30 - 80	55	25	21	Arcilloso
	80 - 100	68	14	18	Arcilloso
	100 - 160	58	23	19	Arcilloso
	160 -200	25	51	24	Franco - Limoso
Pozo # 9	0-20	51	30	19	Arcilloso
	20 - 70	57	25	19	Arcilloso
	70 - 100	70	12	18	Arcilloso
	100 - 160	68	15	17	Arcilloso
	160 - 200	31	45	24	Franco - Arcilloso
Pozo # 10	0 - 30	51	31	19	Arcilloso
	30 - 70	64	19	17	Arcilloso
	70 - 120	64	18	18	Arcilloso
	120 - 150	63	21	17	Arcilloso
	150 - 200	31	48	21	Franco - Arcilloso

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

A partir de los porcentajes de arcilla, limo y arena, se realiza la identificación de suelos utilizando el software Soil Water Characteristics versión 6.02.74., con el cual obtenemos los datos de saturación del suelo, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente; siendo este último el valor que nos permitirá identificar la lámina de agua disponible en el suelo según las muestras de humedad recolectadas.

Tabla N° 2. Identificación de punto de marchitez permanente, capacidad de campo, saturación, y densidad aparente matricial.

N° POZO	Profundidad (cm)	Textura	Punto de marchitez %Vol	Capacidad de campo %Vol	Saturación %Vol	Densidad aparente matricial g/cm3
Pozo # 1	0-20	C	27	40.4	50.6	1.31
	20-70	C	31.7	43.5	52.2	1.27
	70-110	C	34.3	45.1	53.1	1.24
	110-160	Si C L	23.2	38.3	50.2	1.32
	160-200	C	30.1	42.5	51.6	1.28
Pozo # 2	0-70	C	28.6	41.5	50.9	1.30
	70-120	C	35	45.7	52.3	1.27
	120-200	C	34.8	45.4	53.2	1.24
Pozo # 3	0-20	C	26.5	40	50.1	1.32
	20-160	C	24.9	38.9	49.8	1.33
	160-200	C	32.8	44.2	52.2	1.27
Pozo # 4	0-130	C	31.2	43.2	51.9	1.28
	130-170	C	34.8	45.4	53.4	1.23
	170-200	C	34.9	45.5	52.9	1.25
Pozo # 5	0-40	C	28	41.1	50.8	1.30
	40-60	C	31.2	43.2	51.9	1.28
	60-160	C	29.1	41.9	51.4	1.29
	160-200	C	30.2	42.5	51.2	1.29
Pozo # 6	0 - 20	C	28.6	41.5	50.9	1.30
	20 - 70	C	32.2	43.9	52.1	1.27
	70 - 80	C	34.9	45.6	52.7	1.25
	80 - 110	C	34.9	45.6	52.5	1.26
	110 - 130	C	34.8	45.4	53.2	1.24
	130 - 200	C	28	41.2	51.2	1.29
Pozo # 7	0 - 20	C	26	39.4	49.4	1.34
	20 - 70	C	27.6	40.7	50.1	1.32
	70 - 80	C	30.1	42.5	51.6	1.28
	80 - 110	C	30.1	42.5	52.1	1.27
	110 - 160	Si C	25.9	39.9	50.7	1.31
	160 - 200	L	15.8	31.3	47.1	1.40
Pozo # 8	0 - 30	C	30.3	42.5	50.4	1.32
	30 - 80	C	32.4	43.9	51.2	1.29

	80 - 100	C	34.9	45.6	52.5	1.26
	100 - 160	C	33.9	45	52	1.27
	160 -200	Si L	16.3	33	48	1.38
Pozo #	0-20	C	30.2	42.5	51.2	1.29
9	20 - 70	C	33.4	44.6	51.9	1.27
	70 - 100	C	34.9	45.6	52.5	1.26
	100 - 160	C	34.9	45.6	52.7	1.25
	160 - 200	C L	19.6	35.1	48.4	1.37
Pozo #	0 - 30	C	30.2	42.5	51.2	1.29
10	30 - 70	C	34.9	45.6	52.7	1.25
	70 - 120	C	34.9	45.6	52.5	1.26
	120 - 150	C	34.9	45.6	52.7	1.25
	150 - 200	C L	19.5	35.5	48.9	1.35

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

Identificación de las zonas potenciales de sub-irrigación y su correspondiente influencia en la capilaridad del suelo.

De acuerdo con los mapas elaborados de isobatas, durante el tiempo de estudio, no se detectó ninguna fuente de alimentación de agua subterránea o acuífero confinado que sugiera un ascenso con efecto capilar. Podemos observar el movimiento de la freática en los mapas de isobatas en la sección de apéndices.

Para los mapas de Isobatas se ha clasificado a la profundidad del nivel freático en una escala de colores con una diferencia entre rangos de 0.05 m. Esta clasificación se muestra en la parte inferior izquierda de cada plano.

La figura N°1 nos muestra que al inicio de la toma de datos (23 de junio del 2021), un 25% del área presenta niveles freáticos mayores a 1.60 m, un 65% con niveles que estuvieron entre 1.20 a 1.60 m y un 10% del área con niveles freáticos menores a 1.20 m.

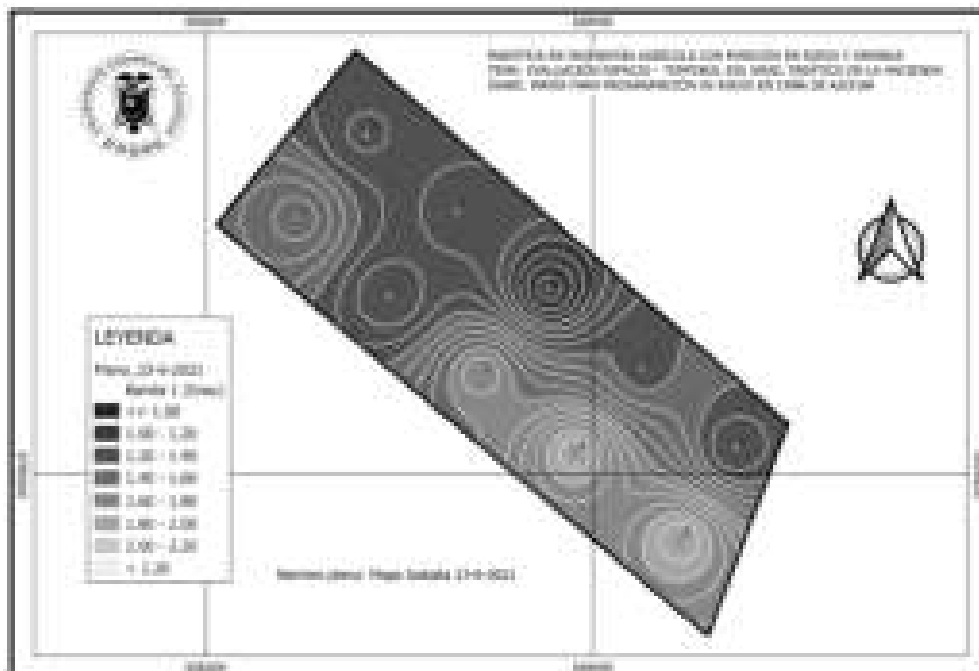
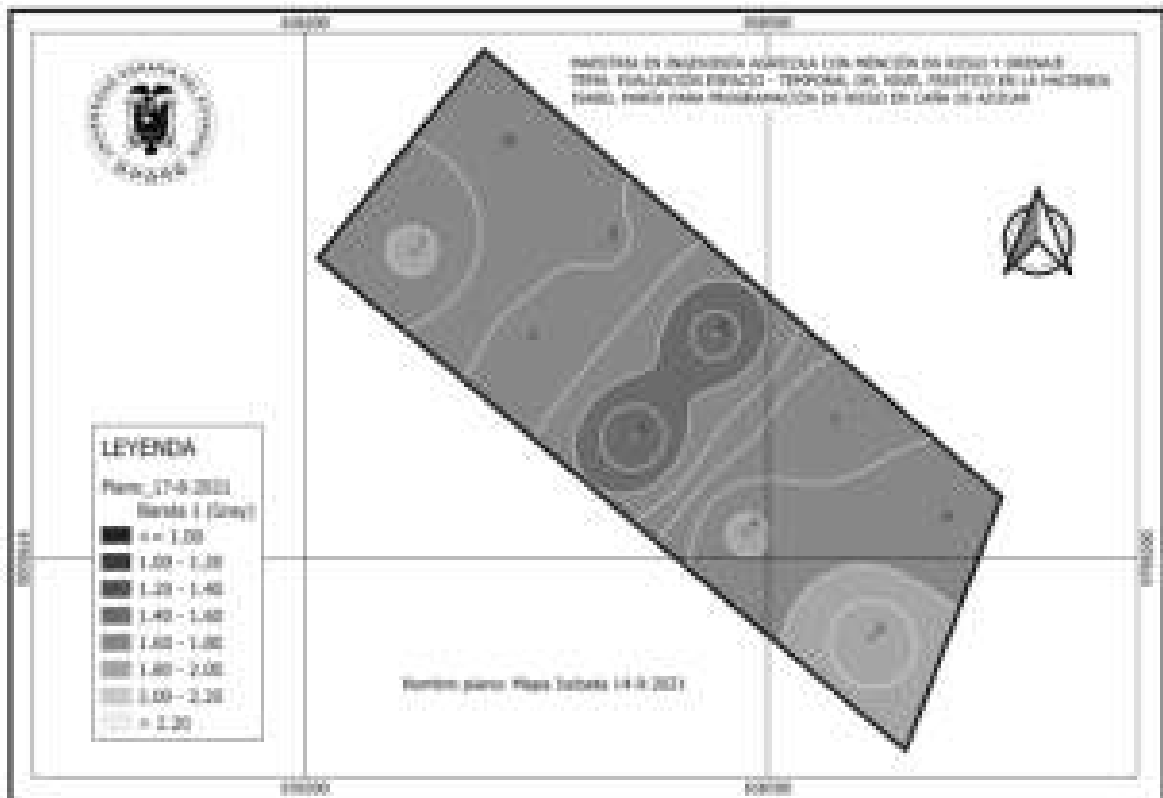


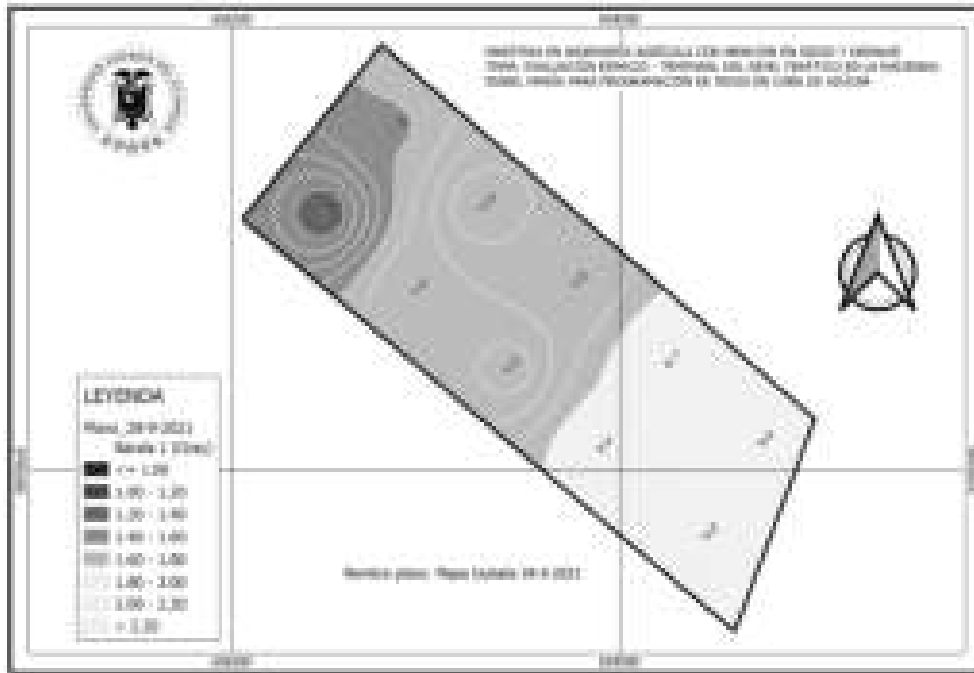
Figura N° 1. Mapa Isobata - 23 de junio del 2021
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)

La figura N°2, que corresponde a la toma de datos del 17 de agosto del 2021, nos muestra claramente un descenso del nivel freático teniendo una profundidad entre 1.20 y 1.60 m. específicamente en los pozos de observación 3 y 8, que representaran un 20 % del área en estudio; mientras que el 65% del área presenta niveles freáticos entre 1.60 y 1.80 m. de profundidad. Esto deja un 15% con niveles mayores a 1.80 m.



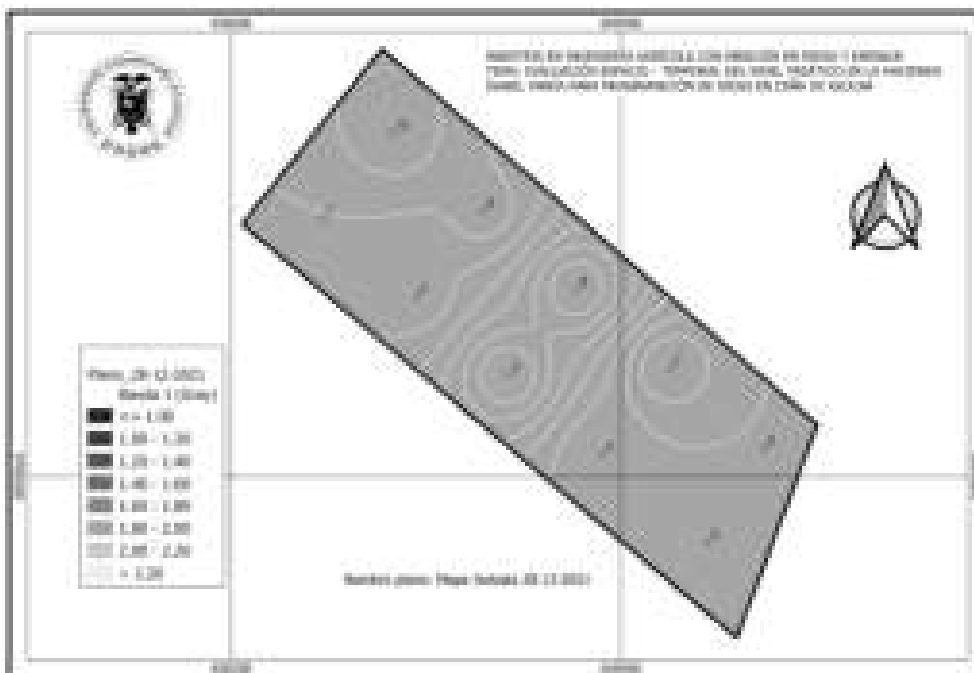
**Figura N° 2. Mapa Isobata - 17 de agosto del 2021
 Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)**

La figura N°3 corresponde a los datos tomados el 28 de septiembre del 2021 y nos permite observar que hay una elevación de los niveles freáticos en los pozos de observación uno y diez. Esta particularidad del ascenso del nivel freático se dio debido a las labores de riego que se ejecutaron durante el mes de septiembre en zonas circundantes al área de estudio.



**Figura N° 3. Mapa Isobata - 18 de septiembre del 2021
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)**

La figura N°4 corresponde a los datos tomados el 28 de diciembre del 2021. Podemos observar que el nivel freático en toda el área de estudio se ubicaba a dos metros de profundidad.



**Figura N° 4. Mapa Isobata - 28 de diciembre del 2021
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)**

Definición de los hidrogramas de nivel freático y las curvas de isohipsas para facilitar la identificación de la dirección de los flujos subterráneos.

Durante la toma de datos se pudo identificar que, al inicio del muestreo, el nivel freático medio en los pozos de observación fue de 1.45 metros de profundidad, alcanzando un máximo de 2.01 metros de profundidad el 23 de noviembre del 2021, y posteriormente un ascenso a cero metros de profundidad el primero de febrero del 2022. Con ello se demuestra que existe un nivel muy alto de la freática durante la época lluviosa (febrero). **Ver Anexo N° 4. Tabla de registro de niveles freáticos en pozos de observación.**

También se pudo evidenciar que, durante en los meses de agosto y septiembre, hubo una elevación de la freática en el área de estudio. Se asume que esta variación de los niveles freáticos fue influenciada por las labores de riego al cultivo de caña de azúcar en lotes circundantes al área de estudio.

Como consideración final para la elaboración y análisis del hidrograma, se ha definido una línea base de la freática a 0.8 metros de profundidad (línea punteada de la figura), la cual es la recomendada para el cultivo de caña de azúcar, según lo menciona CENICAÑA (2015).

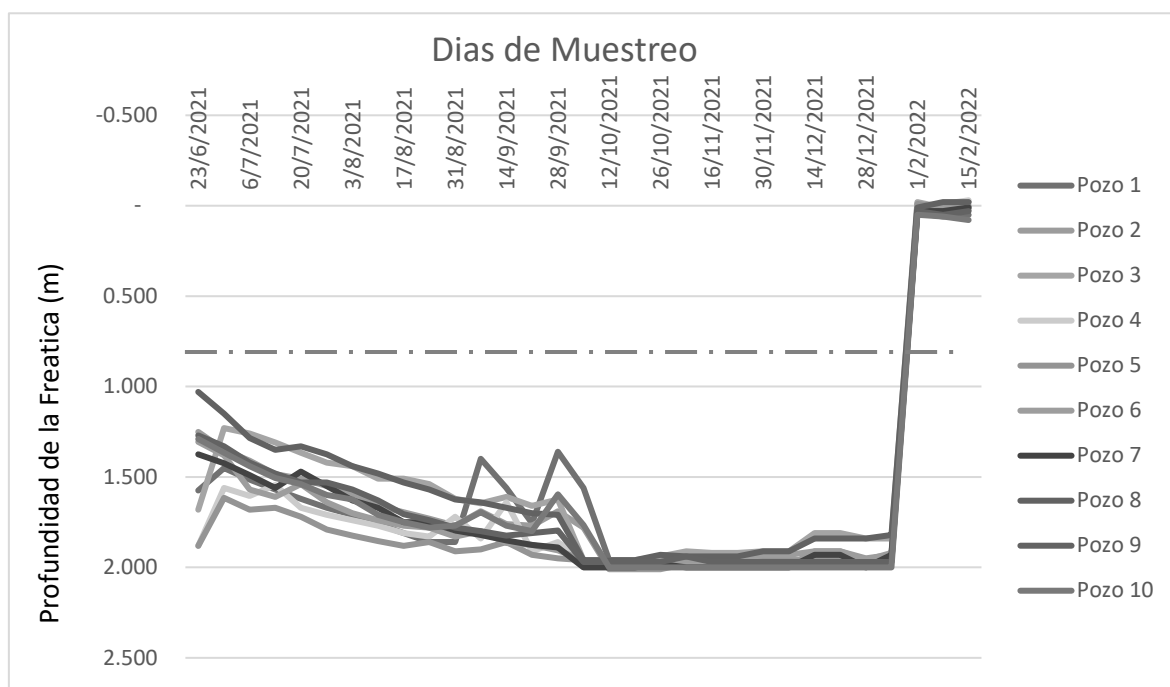
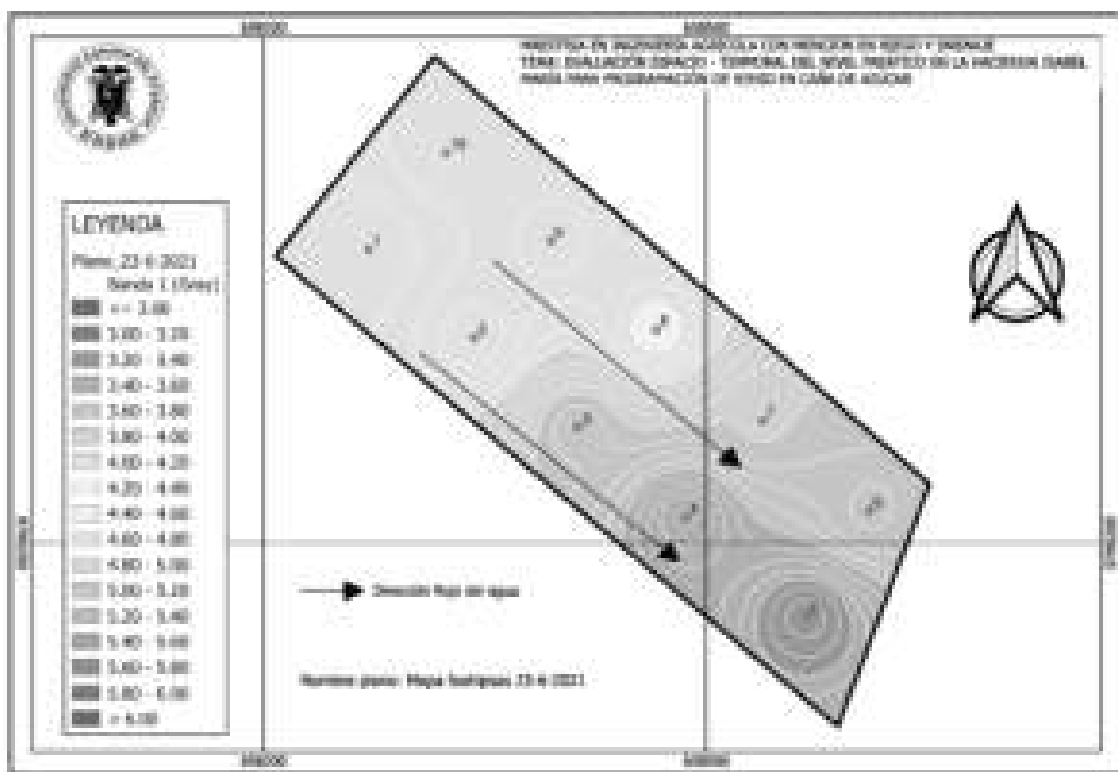


Figura N° 5. Hidrograma de niveles freáticos.
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)

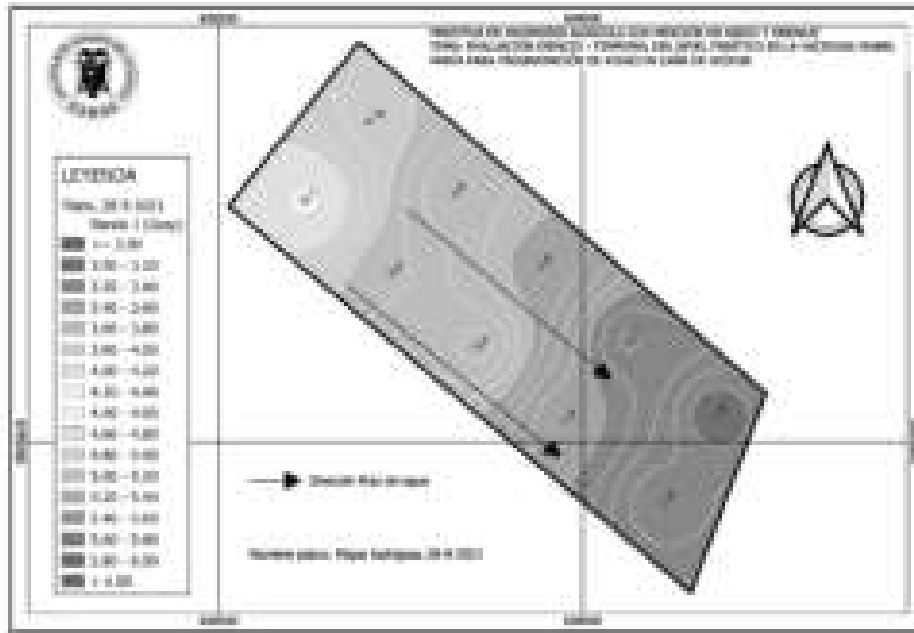
Para la interpretación de los mapas de isohipsas se ha clasificado las cotas en una escala de colores con una diferencia entre rangos de 0.20 m para poder visualizar el movimiento del agua en el suelo. Esta clasificación se muestra en la parte inferior izquierda de cada plano. La gama completa de los planos de isohipsas puede ser consultado en la sección de apéndices.

En la figura 6 se muestran las cotas entre 4.00 m. y 4.20 m. con una tonalidad beige, y las menores a 3.20 m, con una tonalidad más rojiza. Como podemos observar el movimiento de agua es desde el noroeste hacia el sureste de la zona de estudio.



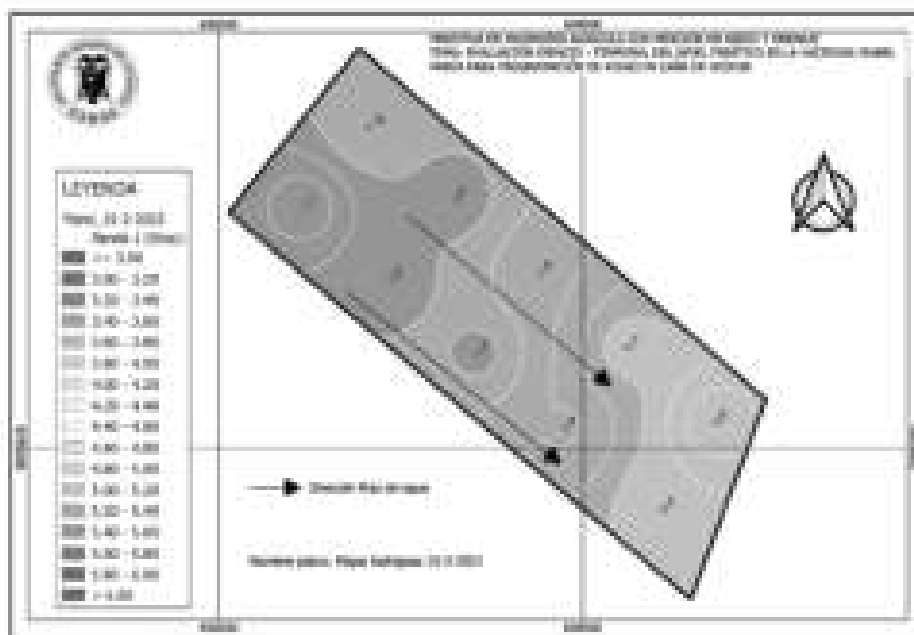
**Figura N° 6. Mapa de Isohipsa. 23 de junio del 2021
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)**

En la figura 7 vemos que el pozo 01 y 10 presentan una variación respecto a los otros pozos, esto posiblemente debido a la influencia que existió por labores de riego en áreas circundantes a la zona de estudio. La gradiente que presenta el área de estudio desde el pozo 01 hacia el pozo 05 es de un metro, y el movimiento de agua se mantiene desde el noroeste hacia el sureste de la zona de estudio.



**Figura N° 7. Mapa de Isohipsa. 28 de septiembre del 2021
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)**

En el mapa elaborado con los datos del 15 de febrero del 2022 (figura N°8), se puede visualizar que la gradiente se mantiene con un metro entre los pozos 01 y 05, así como también se ha mantenido la dirección del movimiento del agua. También observamos que el nivel freático ha alcanzado prácticamente su cota más alta de 5.60 m.s.n.m.



**Figura N° 8. Mapa de Isohipsa. 15 de febrero del 2022
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)**

Elaboración de un plan de riego para caña de azúcar según el comportamiento de la freática en el área de estudio.

De acuerdo con el estudio realizado no existe influencia de la freática con la que se pueda elaborar un plan de riego para el cultivo de caña de azúcar, debido a que los niveles freáticos tuvieron una tendencia a la baja hasta llegar al máximo nivel de registro el cual fue dos metros; pero con los datos de humedad del suelo obtenidos en este estudio, se puede elaborar distintas propuestas para aprovechar la lámina disponible de agua en beneficio al cultivo.

Para poder elaborar una propuesta de aprovechamiento con base al agua retenida en el suelo, es necesario conocer el contenido de humedad del suelo, determinar la lámina de agua disponible, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y el descenso permitido de la lámina de agua (punto de recarga). En este sentido, será importante tomar en cuenta el potencial aporte que puede generar el efecto capilar cuando los niveles freáticos se encuentran a profundidades relativamente menores.

Se analizó el contenido de humedad del suelo a una profundidad de 40 cm para determinar la lámina disponible de agua y sus respectivas capacidades de campo, punto de marchitez permanente y descenso permitido de la lámina de agua.

Se estableció una línea base del máximo descenso permitido de la lámina de agua (línea verde de la figura 9), la cual se lo calculó considerando un 40% del total de la lámina de agua almacenada que está comprendida entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Esta proporción está definida, según lo mencionan Núñez, et al. (2009), como la lámina de agua rápidamente aprovechable por el cultivo (LARA) con la cual la producción no se ve disminuida por déficit hídrico.

Para la figura N°9 que se muestra a continuación, se calculó los límites de capacidad de campo con un valor de 168.35 mm, el punto de marchitez permanente con 118.36 mm y el descenso permitido de la lámina de agua con un valor de 148.35 mm, con base al contenido de humedad del suelo obtenido

de las muestras en campo. Ver **Anexo N° 6. Tabla de Lámina de agua disponible.**

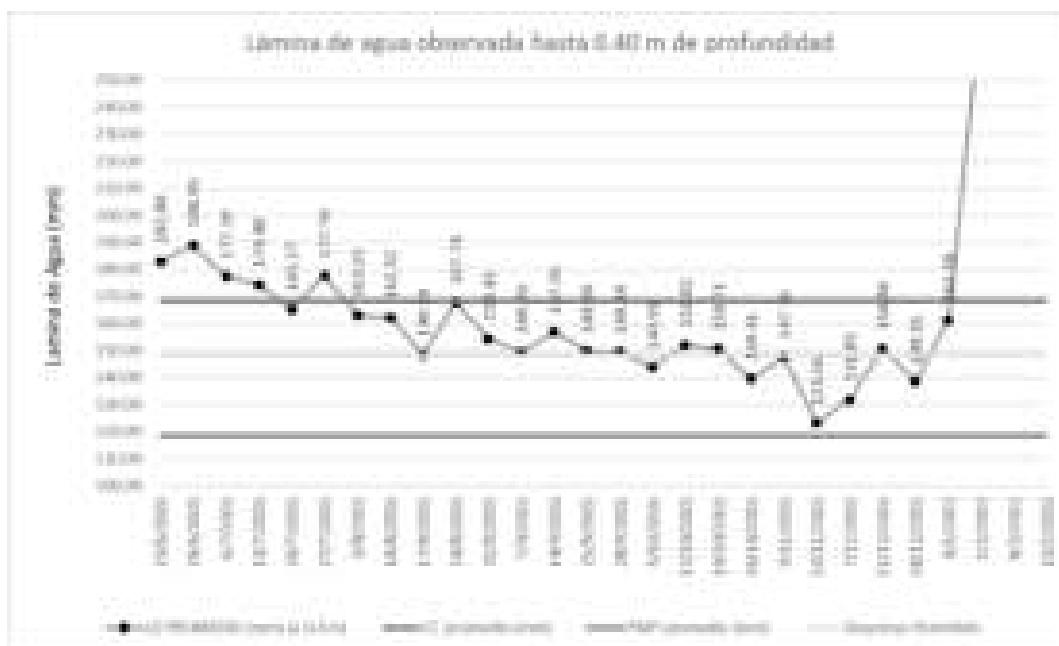


Figura N°9. Lámina de agua disponible a 0.4 metros de profundidad
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz (2022)

Establecidos estos límites se examinó la evolución de la curva de la lámina de agua observada, y se determina que el suelo se encuentra saturado desde el 23 de junio hasta el 13 de julio. A partir de esta última fecha la lámina de agua observada se sitúa dentro de la zona denominada LARA para el cultivo.

Se observó que, hasta el 17 de agosto, la lámina de agua se mantiene sobre el límite de descenso permitido, y a partir de esta fecha se evidencia la necesidad de reposición de la lámina de agua a través del riego, para llegar a capacidad de campo nuevamente.

Para cumplir con una planificación de riego en el área de estudio, su fecha aproximada de inicio sería 17 de agosto, aplicando una lámina de agua de 20mm por hectárea, con esto se llevaría el suelo a capacidad de campo.

Para definir los riegos posteriores será necesario cuantificar la evapotranspiración del cultivo para el predio bajo estudio. Para ello se pueden utilizar los datos meteorológicos recopilados en la hacienda Isabel María, donde la ETc para el cultivo de caña de azúcar es de 3.25mm como promedio. **Ver Anexo N° 5. Tabla de datos meteorológicos hacienda Isabel María**

Tabla N° 3. Programación de riego para el área bajo estudio.

FECHA	Lámina de Agua Aplicar	ETc	Próximo Riego
	mm	mm	días
17/Agosto	20	3.25	6
23/Agosto	20	3.25	6
29/Agosto	20	3.25	6
4/Septiembre	20	3.25	6
10/Septiembre	20	3.25	6
16/Septiembre	20	3.25	6
22/Septiembre	20	3.25	6
28/Septiembre	20	3.25	6
4/Octubre	20	3.25	6
10/Octubre	20	3.25	6
16/Octubre	20	3.25	6
22/Octubre	20	3.25	6
28/Octubre	20	3.25	6
3/Noviembre	20	3.25	6
9/Noviembre	20	3.25	6
15/Noviembre	20	3.25	6
21/Noviembre	20	3.25	6
27/Noviembre	20	3.25	6
3/Diciembre	20	3.25	6
9/Diciembre	20	3.25	6
15/Diciembre	20	3.25	6
21/Diciembre	20	3.25	6
27/Diciembre	20	3.25	6

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

Como consideraciones adicionales para definir un buen ciclo de riego es necesario conocer si el cultivo de caña de azúcar corresponde a una soca o es una caña planta, así como también será primordial considerar el momento de la siembra para aprovechar esta lámina de agua disponible, y que el cultivo al final de su ciclo mantenga un estrés hídrico de 2 meses previo a la cosecha.

El periodo de siembra de la caña de azúcar, en Ecuador, se la divide en tres tercios, correspondiendo al primer tercio al periodo dentro de los meses de junio a agosto; el segundo tercio dentro de los meses de septiembre a octubre y el tercer tercio se ubica de noviembre a mediados diciembre, siendo este último destinado para siembra de semilleros.

DISCUSIÓN

Dentro de los resultados obtenidos, los mapas de isobatas no detectaron ninguna fuente de alimentación de agua subterránea o acuífero confinado que sugiera un ascenso con efecto capilar; no obstante, se pudo evidenciar una variación del nivel freático en dos de los pozos de observación por consecuencia de labores de riego en áreas circundantes a la del estudio. Este efecto concuerda con lo expresado por Vásquez, et al. (2017), quien manifiesta que el proceso de entrada de agua a la zona radicular resultante de la lluvia, el riego, ascensión capilar, así como los procesos de salida sean a través de la percolación, transpiración o evaporación, representan los casos de importancia del movimiento del agua en el suelo.

Según los resultados obtenidos en el hidrograma del grafico N°1, se pudo comprobar un descenso de la tabla de agua en más o menos una media de 1.39 m hasta 1.97 m. Se pudo detectar que el nivel freático del suelo sufrió un ascenso en el mes de septiembre del 2021 debido a dos eventos de riego en zonas circundantes al área de estudio, pero posterior a ello, la tabla de agua desciende a su nivel máximo de registro. Esto concuerda con lo expresado por Villón (2013), quien indica que la tabla de agua experimenta oscilaciones en su altura, elevándose después de un evento de lluvia o riego y disminuyendo su altura en época seca.

Argel (2012), citado por Vásquez, et al. (2017), indica que en los pozos de observación se deben tomar datos de niveles freáticos con una frecuencia de dos a tres veces por mes; sin embargo, esta frecuencia de toma de datos es poco recomendable para un análisis de movimientos de agua de un predio con fines de riego sub-superficial, de allí que esta recolección de datos debería ser 1 o 2 veces por semanas, más aún si las zonas de evaluación están influenciadas por eventos de lluvias o riegos.

En el estudio realizado no se pudo observar una influencia de la freática con la que se pueda elaborar un plan de riego para el cultivo de caña de azúcar. Sin embargo, con los datos de humedad remanente del suelo es posible elaborar una propuesta de riego para aprovechar la humedad disponible

en beneficio al cultivo, identificando la lámina de agua que requiere el cultivo sin llegar a saturar el suelo, así como también con qué frecuencia se debe aplicar dicha lamina. Esto concuerda con lo expresado por Vásquez, et al. (2017), quien indica que conocer el momento óptimo en el cual se debe aplicar el riego es fundamental para su planificación; lo que permite determinar el volumen de agua necesario, la frecuencia de riego óptima, así como también dimensionar la capacidad de conducción y distribución del agua a través de un sistema de riego, con lo que el cultivo puede aprovechar al máximo su potencial sin disminuir su rendimiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir lo siguiente:

No fue posible establecer una programación de riego para el cultivo de caña de azúcar, determinando el comportamiento del nivel freático en el suelo del predio Isabel María, pero se pudo elaborar un plan de riego con base a la cuantificación de la lámina de agua disponible en el suelo para el beneficio del cultivo.

Los mapas de isobatas muestran un descenso del nivel freático y no se detectan fuentes de alimentación subterránea o acuíferos confinados que sugieran un ascenso del agua por cartesianismo, adicionalmente favorecido con efecto de capilaridad.

Con el Hidrograma de niveles freáticos, se evidencia un descenso del nivel freático de forma progresivo desde el mes de junio hasta noviembre, donde alcanza su máximo nivel de descenso que es dos metros de profundidad. Se pudo evidenciar una variación de los niveles freáticos en el mes de septiembre, los cuales fueron producto de eventos de riego en zonas circundantes del área en estudio. También se observó como el nivel freático asciende a cero metros en el mes de febrero, producto de precipitaciones, elevación de niveles de agua por crecientes de ríos y esteros circundantes.

Los mapas de isohipsas muestran la misma dirección de movimiento de agua desde el noroeste hacia el sureste de la zona de estudio, no existió cambios en la dirección del flujo del agua durante el tiempo de estudio.

Recomendaciones

Ampliar el estudio de niveles freáticos a toda la hacienda Isabel María, preestableciendo una red de pozos de observación que se encuentren ubicados en sitios que no vayan a ser influenciados por drenajes o esteros. Esto debido a que la hacienda es relativamente nueva para el ingenio, y por tanto, se carece de investigaciones o estudios que aporten a un proceso de producción eficaz del cultivo de caña de azúcar.

Se recomienda realizar mapas de isohipsas de toda la hacienda Isabel María con la finalidad de determinar el movimiento del agua e identificar si existe alguna fuente de alimentación de agua subterránea o acuífero confinados, que creen o sugieran un ascenso capilar.

En base a la toma de niveles freáticos, evaluar si la red de drenaje actual está bien diseñada o establecida, o en su defecto poder corregir problemas de drenaje que existentes que perjudiquen el desarrollo y producción del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Amaya, A., Cock, J.H., Hernández, A. e Irvine, J. (1995). *Biología*. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia: CENICAÑA, (pp.31-62).
- Angella, G., Frias, C. y Salgado, R. (2016). *Conceptos Básicos de las Relaciones Agua - Suelo – Planta*. Buenos Aires, Argentina: INTA EDICIONES.
- Angelone, S., Garibay, M. y Marina, C. (2006). *Permeabilidad de Suelos*. Geología y Geotecnia. Universidad Nacional de Rosario – Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Recuperado de <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Permeabilidad%20en%20Suelos.pdf>
- Argel, J. (2012). Respuesta Espacial de la Productividad al Nivel Freático de la Finca El Paso en el Cultivo de Banano (*musa acuminata*), Basado en el Uso de Sistemas de Información Geográfica (tesis de maestría). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1696/1/106542.pdf>
- Assan, M. y Gorosito, S. (2018). *Relacion suelo - agua - planta*. Serie Didactica N°1 Cátedra de Riego y Drenaje. Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca, Argentina. Recuperado de <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20ODE%20CATEDRA/Guia%20didactica%20RASPA%20Assan.pdf>
- Ayars, J., Hutmacher, R., Schoneman, R., Soppe, R., Vail, S. y Dale, F. (1999). Realizing the potential of integrated irrigation and drainage water management for meeting crop water requirements in semi-arid and arid areas. *Irrigation and Drainage Systems*, (13), 321-347. Doi: 10.1023/A:1006390421589
- Bakker, H. (2011). *Sugar Cane Cultivation and Management*. New York, USA: Plenum Publishers. 1-3
- Benitez, M. (2013). Evaluación de la calidad de agua y riesgo de contaminación del embalse el azúcar en época de verano (tesis de pregrado). Universidad

Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/4698>

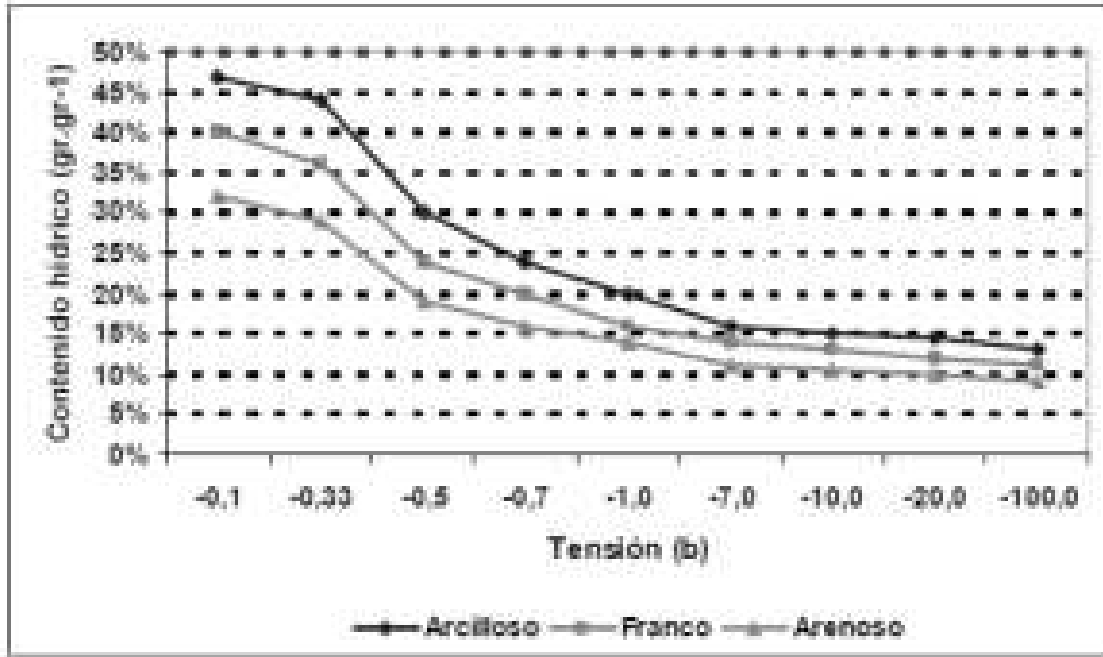
- Borin, M. (1990). Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments with different watertable depths. *Acta Hortic.* 267, 85-92. Doi: 10.17660/ActaHortic.1990.267.
- Burbano, N., Becerra, S. y Pasquel, E. (2015). *Introducción A La Hidrología Del Ecuador* (2da ed.). Quito, Ecuador: INAMHI.
- Castillo, R. O. (2019). *Informe anual 2018*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. El Triunfo, Ecuador: CINCAE.
- CENICAÑA. (1992). *Efecto del nivel freático en la producción*. En Informe Anual 1991. Cali, Colombia: CENICAÑA. 32-33.
- CENICAÑA. (2015). Drenaje de suelos cultivados con caña de azúcar. Cali, Colombia: *Centro de Investigación de la Caña de Azúcar, Cenicaña*. Recuperado de <https://www.cenicana.org/drenaje-de-suelos-cultivados-con-cana-de-azucar/>
- Madramootoo, C., Helwig, T. y Dodds, G. (2001). Managing Water Tables To Improve Drainage Water Quality In Quebec, Canada. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1511-1519.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). (2008, 20 de octubre). Asamblea Nacional del Ecuador. Registro Oficial No. 449
- Cruz, R. (1995). Drenajes. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. Cali, Colombia: CENICAÑA, 211-233.
- Custodio, E. (1993). Gestión y Protección de Acuíferos. *Temas actuales de Hidrogeología Subterránea* (pp. 225-244). Mar del Plata, Argentina.
- Fiallos, F. (2008). Reacción de 100 variedades de Caña de Azúcar (*Saccharum officinarum*) del Banco de Germoplasma del CINCAE, al carbón (*Ustilago scitaminea* Sydow), Roya (*Puccinia melanocephala* Sydow) y Mosaico (Surgarcane Mosaic Virus) en la zona del Cantón El Triunfo (tesis de grado). Escuela Politécnica Superior del Litoral. Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/11994>

- Gavilánez, F. (2020). *El drenaje agrícola y sus elementos de diseño*. Quito, Ecuador: Mawil Publicaciones de Ecuador. Doi: 10.26820/978-9942-826-38-1
- Gonzalez, J. A. (2020). *Informe anual 2019*. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador. El Triunfo, Ecuador: CINCAE.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos, Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales [INEC]. (2019). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Lafi, S., Angella, G. y Frias, C. (2011). Retención de agua en el suelo. Curvas de capacidad hídrica. *Conceptos Básicos de las Relaciones Agua - Suelo – Planta* (pp. 17-18). Buenos Aires, Argentina: INTA EDICIONES.
- Leopold, L. B. (1974). *WATER: A Primer*. San Francisco, California: W.H.Freeman & Co Ltd.
- Ley Orgánica De Recursos Hídricos, Usos Y Aprovechamiento Del Agua de 2014. (2014, 6 de agosto). Asamblea Nacional del Ecuador. Registro Oficial Suplemento 305. (pp. 33-52).
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: drenaje de suelos para uso agrícola*. Buenos Aires, Argentina: INTA EDICIONES.
- Müller, H. (12 de 2012). Ascenso Capilar De Agua En El Suelo. *COOPRINFORMA* (114), (pp. 4-7).
- Núñez, O. y Spaans, E. (2009). Afinando un balance hídrico para mejorar la programación de riegos: experiencias en el Ingenio San Carlos. *Primer Congreso Nacional de la Caña Azúcar y sus Derivados. Asociación de Técnicos Azucareros del Ecuador (AETA)*. Milagro, Ecuador.
- Oosterbaan, R. (1994). Agricultural drainage criteria. En H. Ritzema (Ed.), *Drainage principles and application* (pp. 635-689). Wageningen, The Netherlands: Alterra-ILRI Publication Series.

- Ordoñez, J. (2011). *Aguas Subterráneas-Acuíferos*. Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. Lima, Peru. <https://doi.org/doi:978-9972-602-78-8>
- Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2014). *Textura del Suelo*. Recuperado de http://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- Ortegón, A. (2004). Metodología para la realización de estudios de drenaje a nivel predial. *PALMAS*, 25(Especial), 126-136.
- Ranjel, H., Viveros, C., Gómez, L., Amaya, A., Victoria, J., y Ángel, J. (2013). *Catálogo de Variedades*. En CENICAÑA. Cali, Colombia: CENICAÑA
- Rebollo, L. y Martín-Loeches, M. (2007). Diez Preguntas Elementales Sobre Aguas Subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (15.3), 240-249.
- Rucks, L., García, F., Kaplan, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Universidad de la República - Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. Recuperado de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Salgado, L. (2001). *Determinación de características hidrodinámicas del suelo*. Concepción, Chile. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/36134/NR25849>.
- Salgado, L. (2001). *Estudio de niveles freáticos y piezométricos*. Concepción, Chile. Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/33803/NR25848.pdf>
- Silva, E. (2003). *Morfología y Fisiología de la Caña de Azúcar en el Ecuador*. En Asociación Ecuatoriana de Tecnólogos de la Caña de Azúcar (AETA). Guayaquil, Ecuador. 1-13
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., y Cañamero, M. (2017). *Fundamentos De Ingeniería De Riegos*. Lima, Perú: Q&P Impresores S.R.L.
- Villón, M. (2013). *Drenaje*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Wiliski G, S. A. (2014). Velocidad de flujo capilar en esquinas: comparación de dos métodos de cálculo de área transversal. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, (29), 73-81.

Wind, G. (1955). *A field experiment concerning capillary rise of moisture in a heavy clay soil*. En *Journal of the Royal Netherlands Society for Agricultural Sciences*, 3(1), 60-69. <https://doi.org/doi:10.18174/njas.v3i1.17827>



Anexo N° 3. Relación entre potencial mátrico y contenido de humedad para 3 tipos de suelo

Fuente: (Lafi, Angella, & Frias, 2011)

Fecha	POZO 1	POZO 2	POZO 3	POZO 4	POZO 5	POZO 6	POZO 7	POZO 8	POZO 9	POZO 10	Media
23/6/2021	1.58	1.25	1.68	1.88	1.88	1.31	1.38	1.03	1.27	1.29	1.45
29/6/2021	1.45	1.35	1.23	1.56	1.62	1.38	1.43	1.15	1.33	1.37	1.39
6/7/2021	1.52	1.41	1.26	1.61	1.68	1.57	1.49	1.29	1.42	1.44	1.47
13/7/2021	1.57	1.49	1.31	1.55	1.67	1.61	1.56	1.35	1.48	1.51	1.51
20/7/2021	1.62	1.51	1.37	1.67	1.72	1.54	1.47	1.33	1.53	1.54	1.53
27/7/2021	1.67	1.55	1.42	1.71	1.79	1.64	1.55	1.38	1.53	1.60	1.58
3/8/2021	1.71	1.60	1.44	1.74	1.83	1.70	1.63	1.44	1.57	1.63	1.63
10/8/2021	1.76	1.66	1.51	1.77	1.86	1.74	1.67	1.48	1.63	1.71	1.68
17/8/2021	1.81	1.70	1.51	1.81	1.88	1.77	1.75	1.53	1.71	1.75	1.72
24/8/2021	1.86	1.73	1.54	1.83	1.86	1.78	1.75	1.57	1.74	1.78	1.74
31/8/2021	1.86	1.77	1.62	1.72	1.91	1.83	1.80	1.63	1.78	1.77	1.77
7/9/2021	1.40	1.69	1.65	1.84	1.90	1.80	1.82	1.64	1.80	1.70	1.72
14/9/2021	1.56	1.76	1.61	1.64	1.86	1.87	1.85	1.67	1.83	1.77	1.74
21/9/2021	1.76	1.77	1.66	1.91	1.93	1.88	1.88	1.70	1.81	1.80	1.81
28/9/2021	1.36	1.69	1.63	1.86	1.95	1.91	1.89	1.71	1.80	1.60	1.74
5/10/2021	1.56	1.78	1.96	1.96	1.96	1.96	2.00	1.96	1.97	1.77	1.89
12/10/2021	1.96	2.01	1.96	1.96	1.96	1.96	2.00	1.96	1.97	2.00	1.97
19/10/2021	1.96	2.01	1.96	1.96	1.96	1.96	2.00	1.96	1.97	2.00	1.97
26/10/2021	1.96	2.01	1.94	1.95	1.96	1.96	1.98	1.93	1.97	2.00	1.97
9/11/2021	1.96	1.98	1.91	1.96	1.96	1.96	2.00	1.94	1.94	2.00	1.96
16/11/2021	1.96	1.99	1.92	1.96	1.96	1.96	2.00	1.94	1.97	2.00	1.97
23/11/2021	1.96	1.99	1.92	1.96	1.96	1.96	2.00	1.94	1.97	2.00	1.97
30/11/2021	1.96	1.99	1.91	1.96	1.96	1.93	2.00	1.91	1.97	2.00	1.96
7/12/2021	1.96	1.99	1.91	1.96	1.96	1.93	2.00	1.91	1.97	2.00	1.96
14/12/2021	1.96	1.91	1.81	1.96	1.96	1.91	1.93	1.84	1.97	2.00	1.93
21/12/2021	1.96	1.91	1.81	1.96	1.96	1.91	1.93	1.84	1.97	2.00	1.93
28/12/2021	1.96	1.95	1.84	1.96	1.96	1.96	2.00	1.84	1.97	2.00	1.94
4/1/2022	1.96	1.93	1.84	1.96	1.96	1.92	1.93	1.82	1.97	2.00	1.93
1/2/2022	0.04	0.01	-0.02	0.00	-0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0.05	0.02
8/2/2022	0.06	0.02	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.03	-0.02	0.05	0.06	0.02
15/2/2022	0.05	0.02	-0.02	-0.03	0.00	0.01	0.01	-0.02	0.03	0.08	0.01

Anexo N° 4. Tabla de registro de niveles freáticos en pozos de observación.

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

Año	TEM MIN °C	TEM MAX °C	Heliofanía Horas	ETo Acum mm	ETo mm/día	Kc	ETc mm/día
2018	20.68	33.45	75.51	91.71	3.02	1.00	3.02
2019	21.21	33.37	81.05	98.06	3.23	1.00	3.23
2020	20.99	33.39	87.09	101.22	3.33	1.00	3.33
2021	20.76	33.47	75.20	98.97	3.26	1.00	3.26
2022	20.90	32.63	85.20	102.37	3.40	1.00	3.40
PROMEDIO	20.91	33.26	80.81	98.47	3.25	1.00	3.25

Anexo N° 5. Tabla de datos meteorológicos hacienda Isabel María

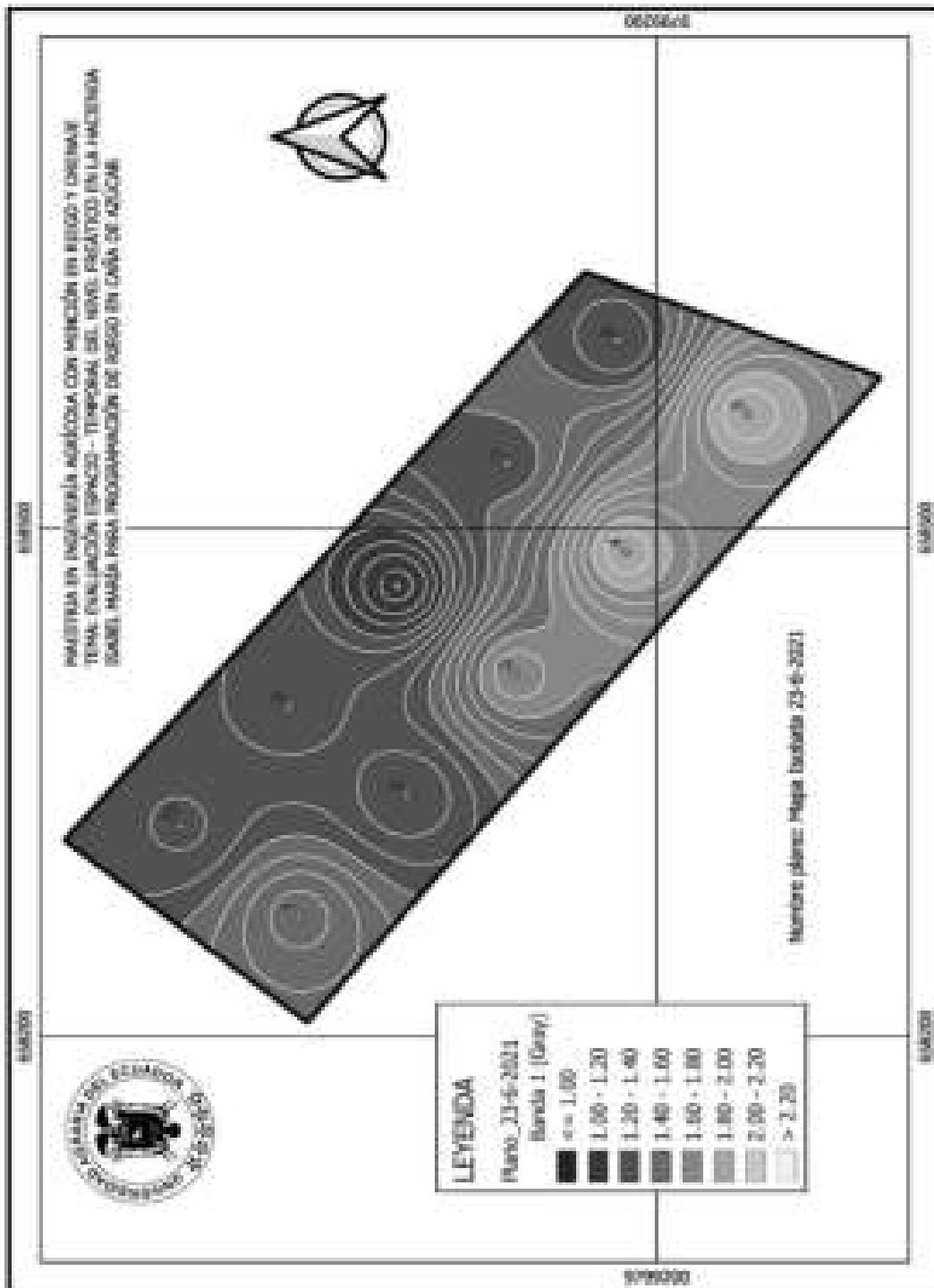
Fuente: Ingenio San Carlos (2022)

Fecha	LD PROMEDIO (mm) (a 0.4 m)	CC promedio (mm)	PMP promedio (mm)	Lamina Agua Aprovechable (mm)	Descenso Permitido
23/6/2021	182.80	168.35	118.36	19.99	148.35
29/6/2021	188.95	168.35	118.36	19.99	148.35
6/7/2021	177.39	168.35	118.36	19.99	148.35
13/7/2021	174.40	168.35	118.36	19.99	148.35
20/7/2021	165.27	168.35	118.36	19.99	148.35
27/7/2021	177.70	168.35	118.36	19.99	148.35
3/8/2021	163.15	168.35	118.36	19.99	148.35
10/8/2021	162.32	168.35	118.36	19.99	148.35
17/8/2021	148.50	168.35	118.36	19.99	148.35
24/8/2021	167.74	168.35	118.36	19.99	148.35
31/8/2021	154.43	168.35	118.36	19.99	148.35
7/9/2021	149.20	168.35	118.36	19.99	148.35
14/9/2021	157.01	168.35	118.36	19.99	148.35
21/9/2021	149.80	168.35	118.36	19.99	148.35
28/9/2021	149.34	168.35	118.36	19.99	148.35
5/10/2021	143.91	168.35	118.36	19.99	148.35
12/10/2021	152.02	168.35	118.36	19.99	148.35
19/10/2021	150.71	168.35	118.36	19.99	148.35
26/10/2021	139.51	168.35	118.36	19.99	148.35
9/11/2021	147.76	168.35	118.36	19.99	148.35
23/11/2021	123.16	168.35	118.36	19.99	148.35
7/12/2021	131.85	168.35	118.36	19.99	148.35
21/12/2021	150.86	168.35	118.36	19.99	148.35
28/12/2021	138.51	168.35	118.36	19.99	148.35
4/1/2022	161.30	168.35	118.36	19.99	148.35
1/2/2022	275.79	168.35	118.36	19.99	148.35
8/2/2022	276.65	168.35	118.36	19.99	148.35
15/2/2022	271.41	168.35	118.36	19.99	148.35

Anexo N° 6. Tabla de Lámina de agua disponible

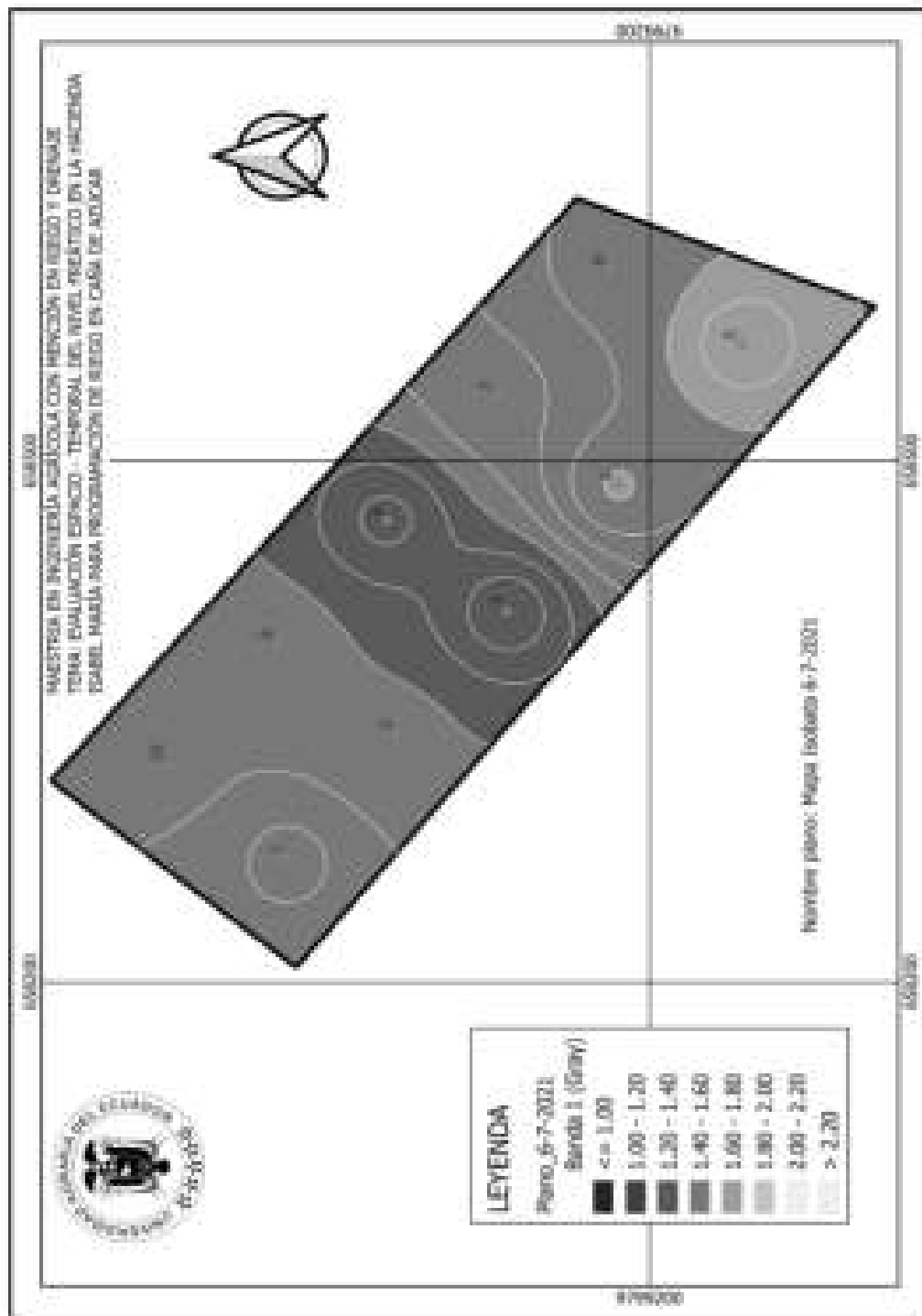
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

APENDICES
APENDICE #1



Mapa Isobata 1. Datos del 23-06-2021
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

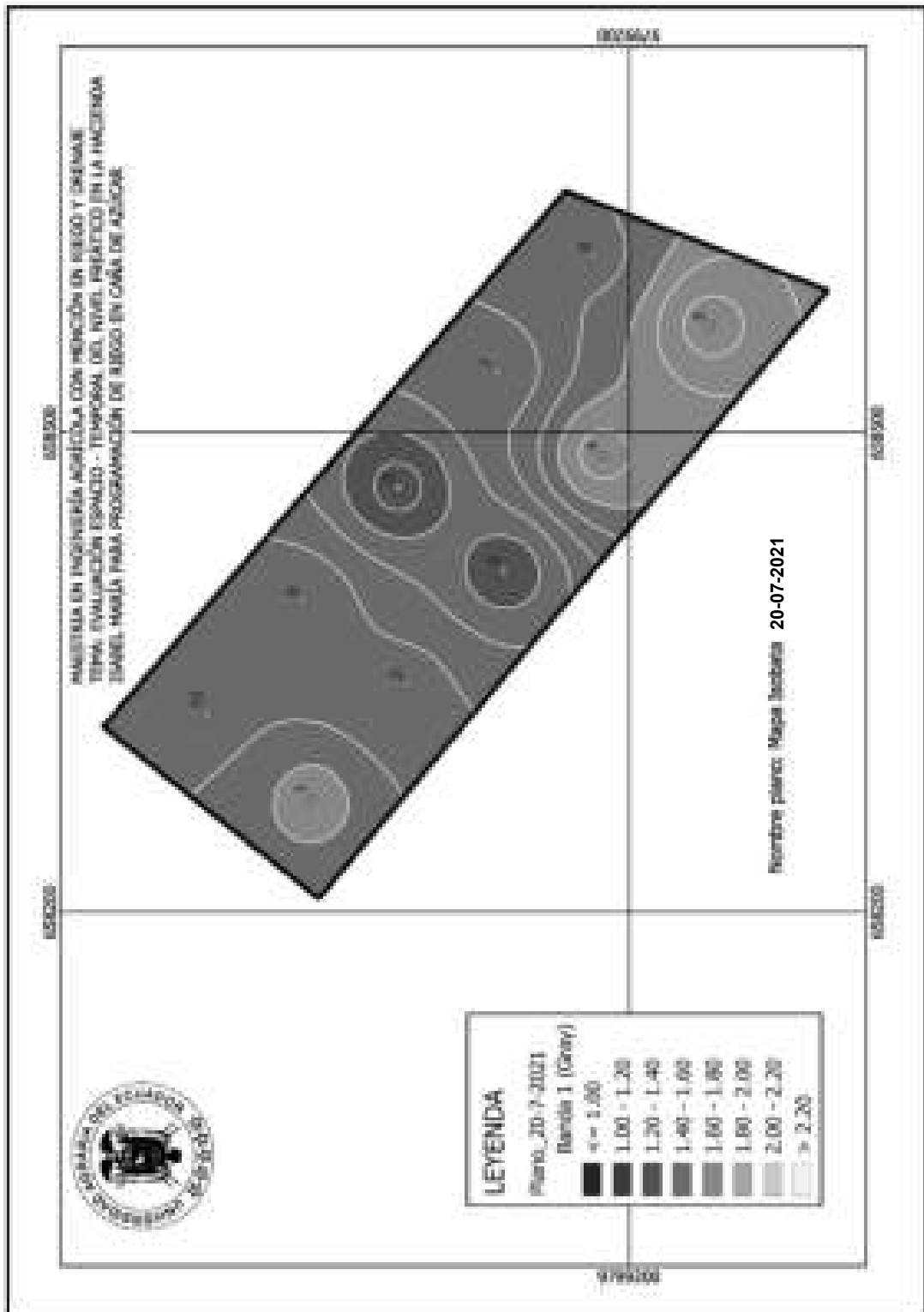
APENDICE # 2



Mapa Isobata 2. Datos del 06-07-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

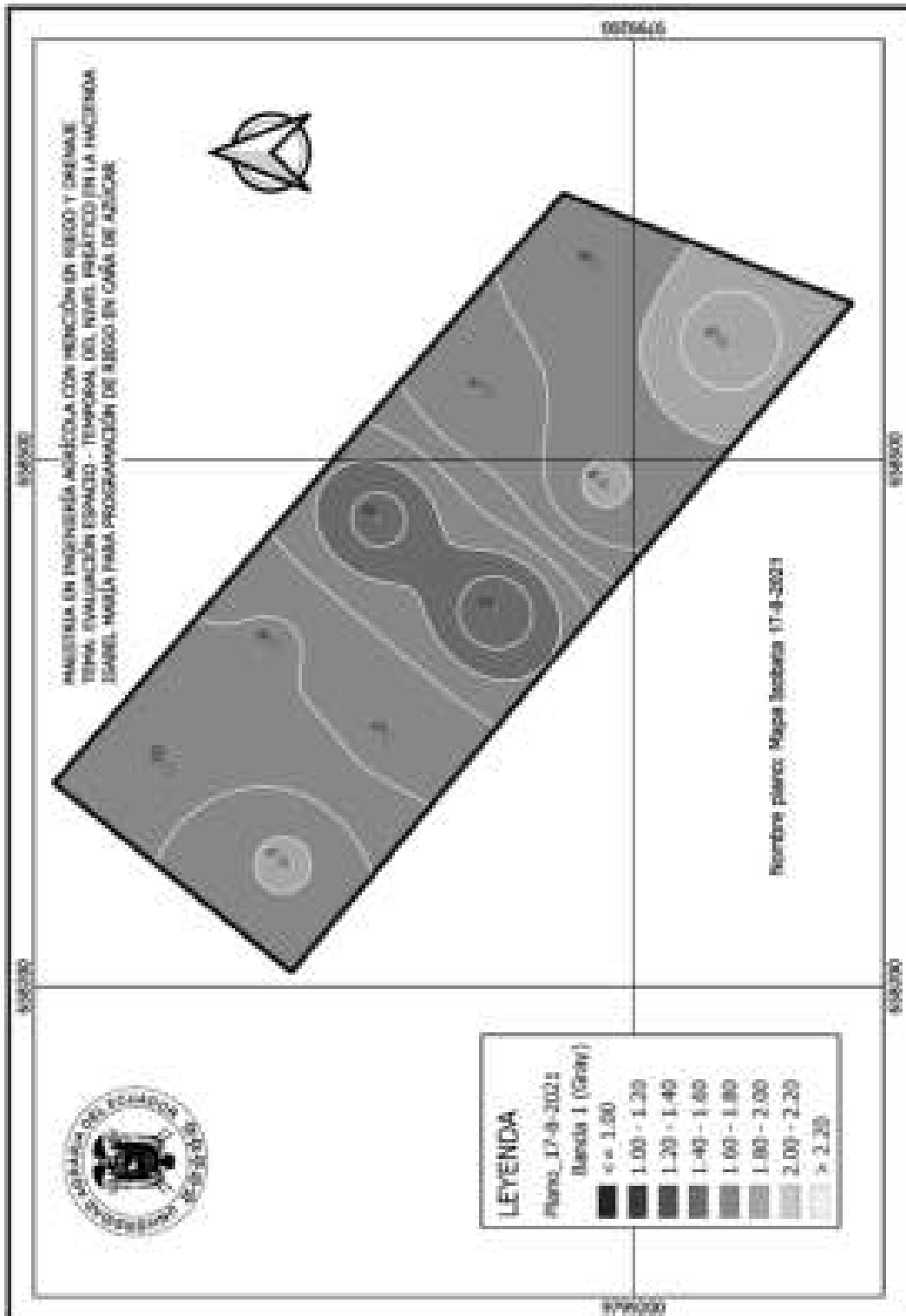
APENDICE # 3



Mapa Isobata 3. Datos del 20-07-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

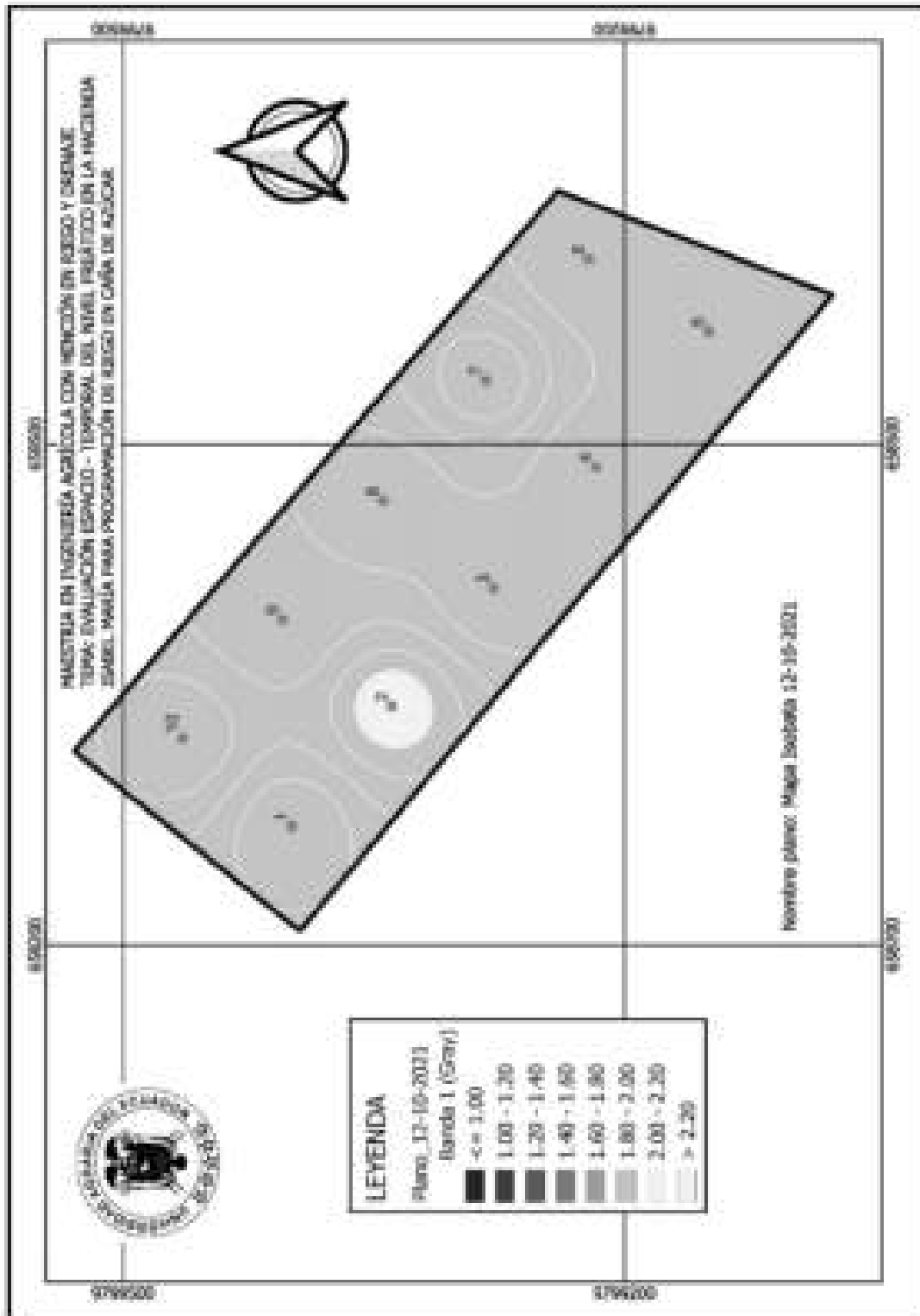
APENDICE # 5



Mapa Isobata 5. Datos del 17-08-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

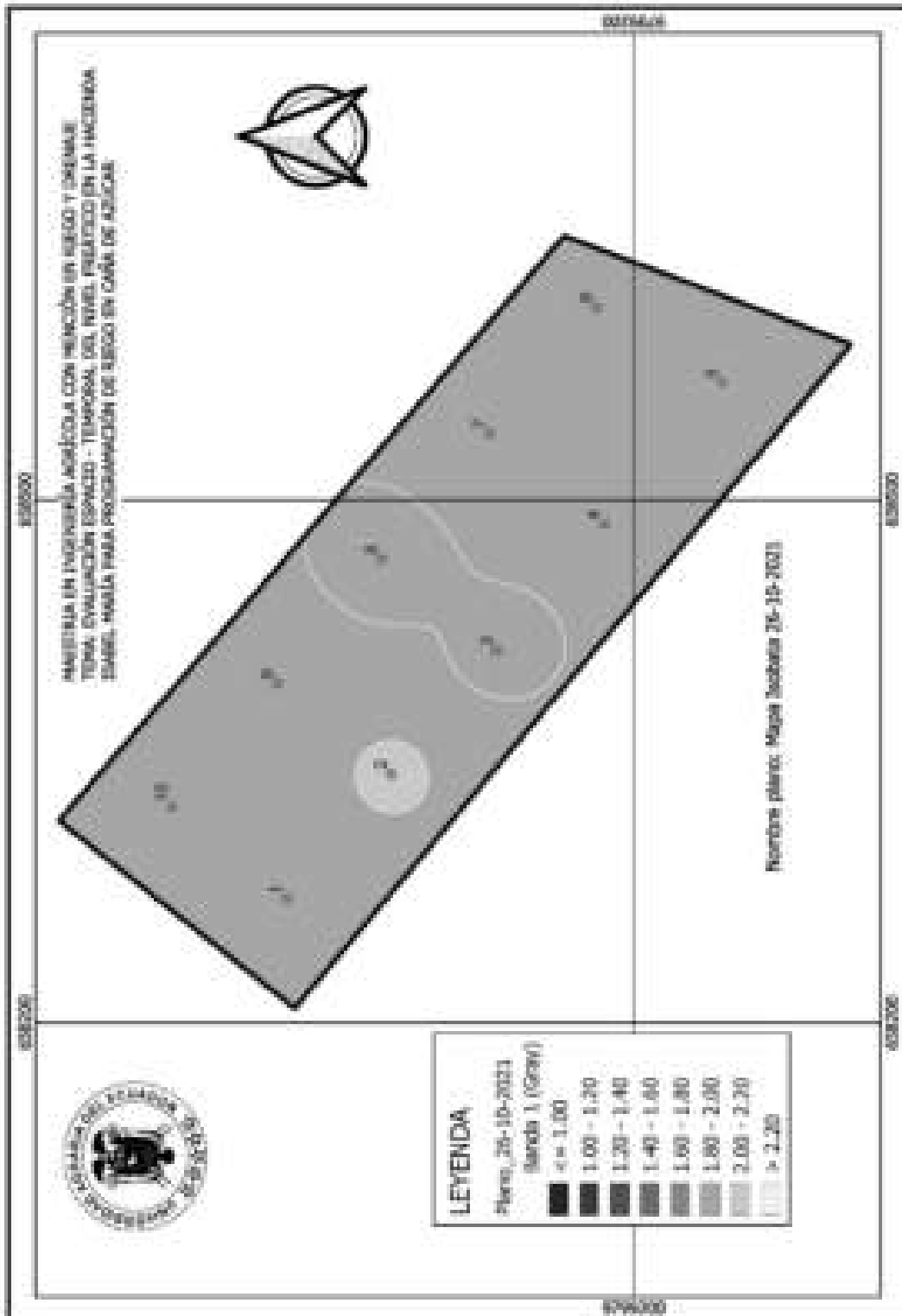
APENDICE # 9



Mapa Isobata 9. Datos del 12-10-2021

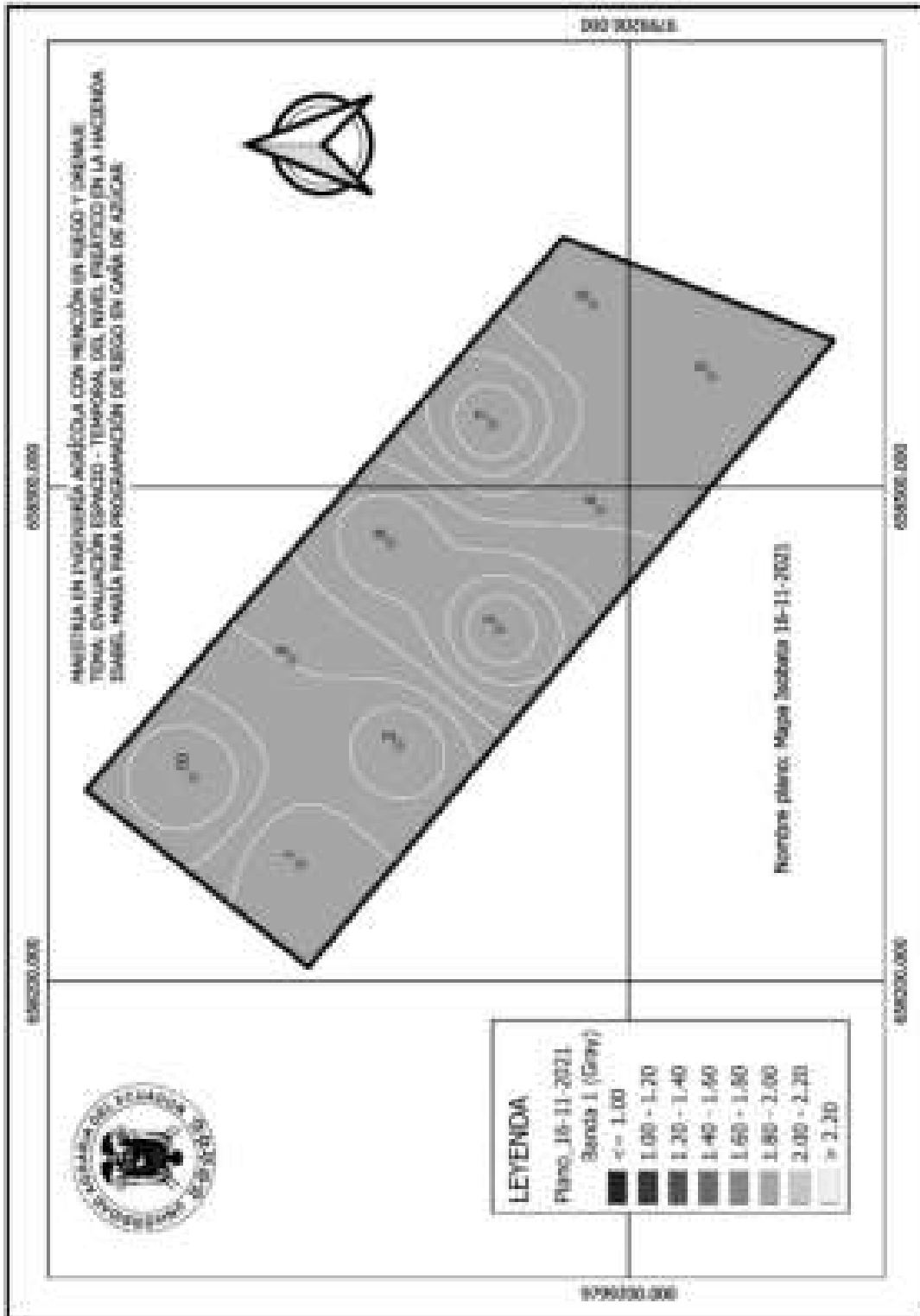
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

APENDICE # 10



Mapa Isobata 10. Datos del 26-10-2021
Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

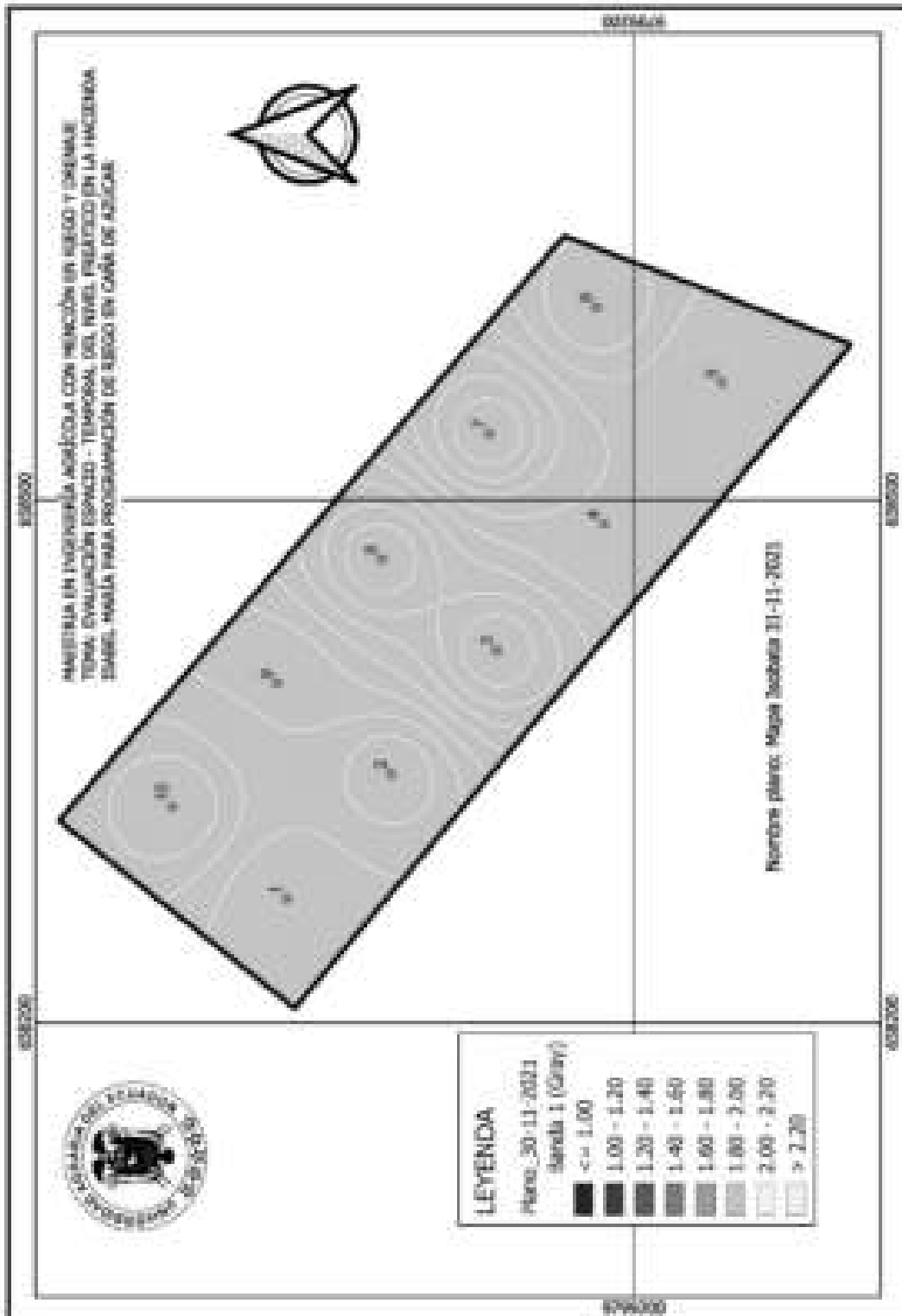
APENDICE # 11



Mapa Isobata 11. Datos del 16-11-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

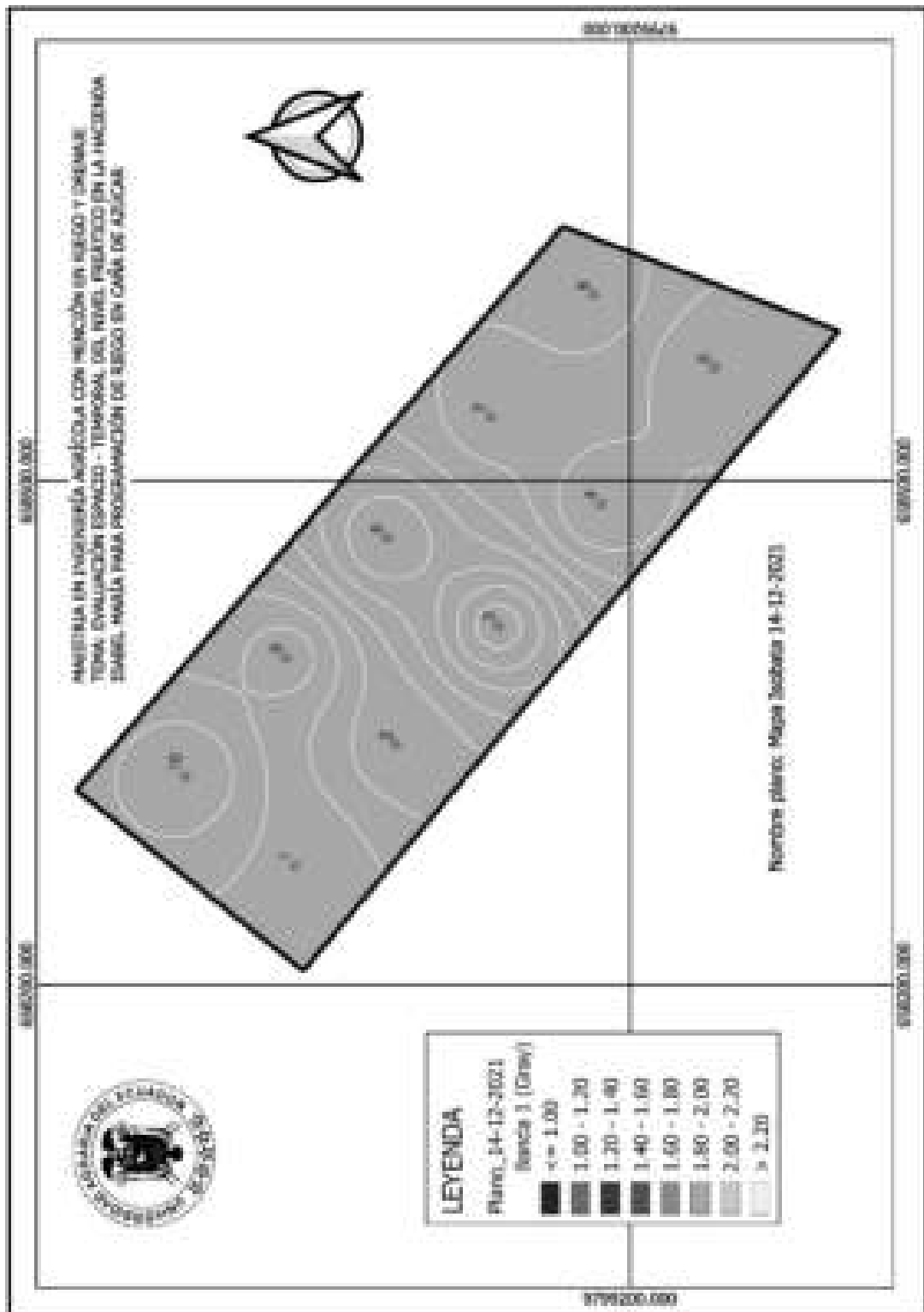
APENDICE # 12



Mapa Isobata 12. Datos del 30-11-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

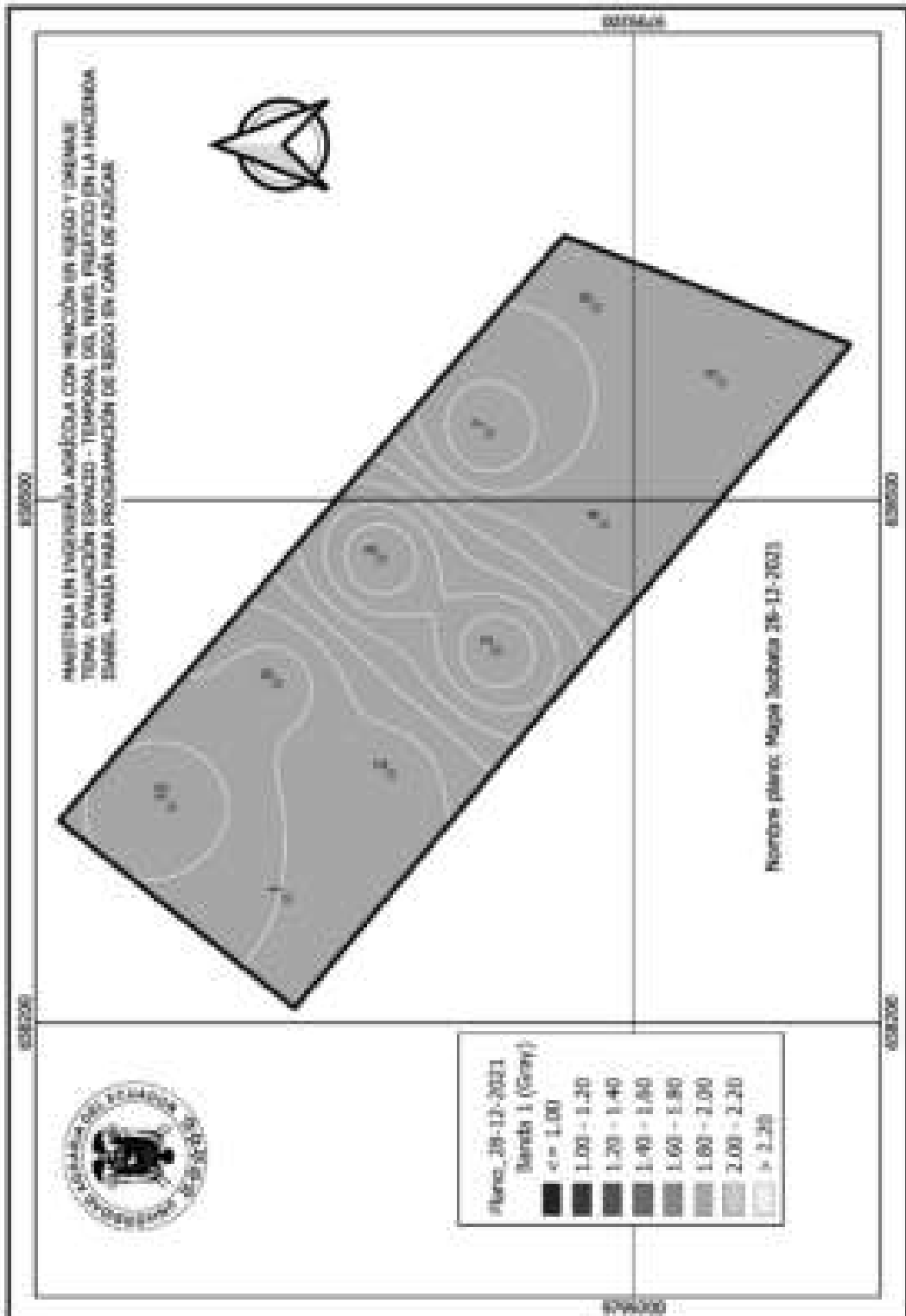
APENDICE # 13



Mapa Isobata 13. Datos del 14-12-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

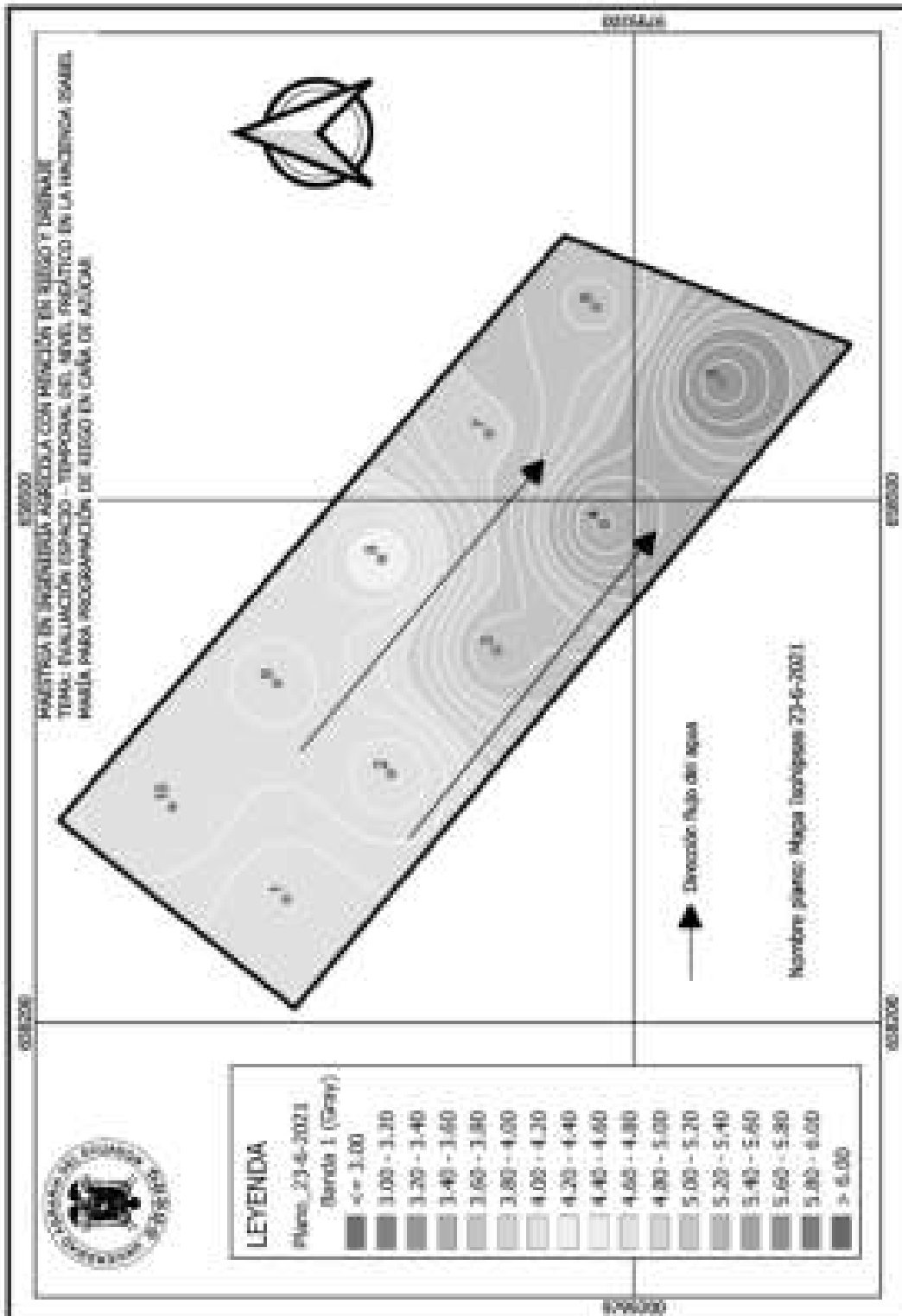
APENDICE # 14



Mapa Isobata 14. Datos del 28-12-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

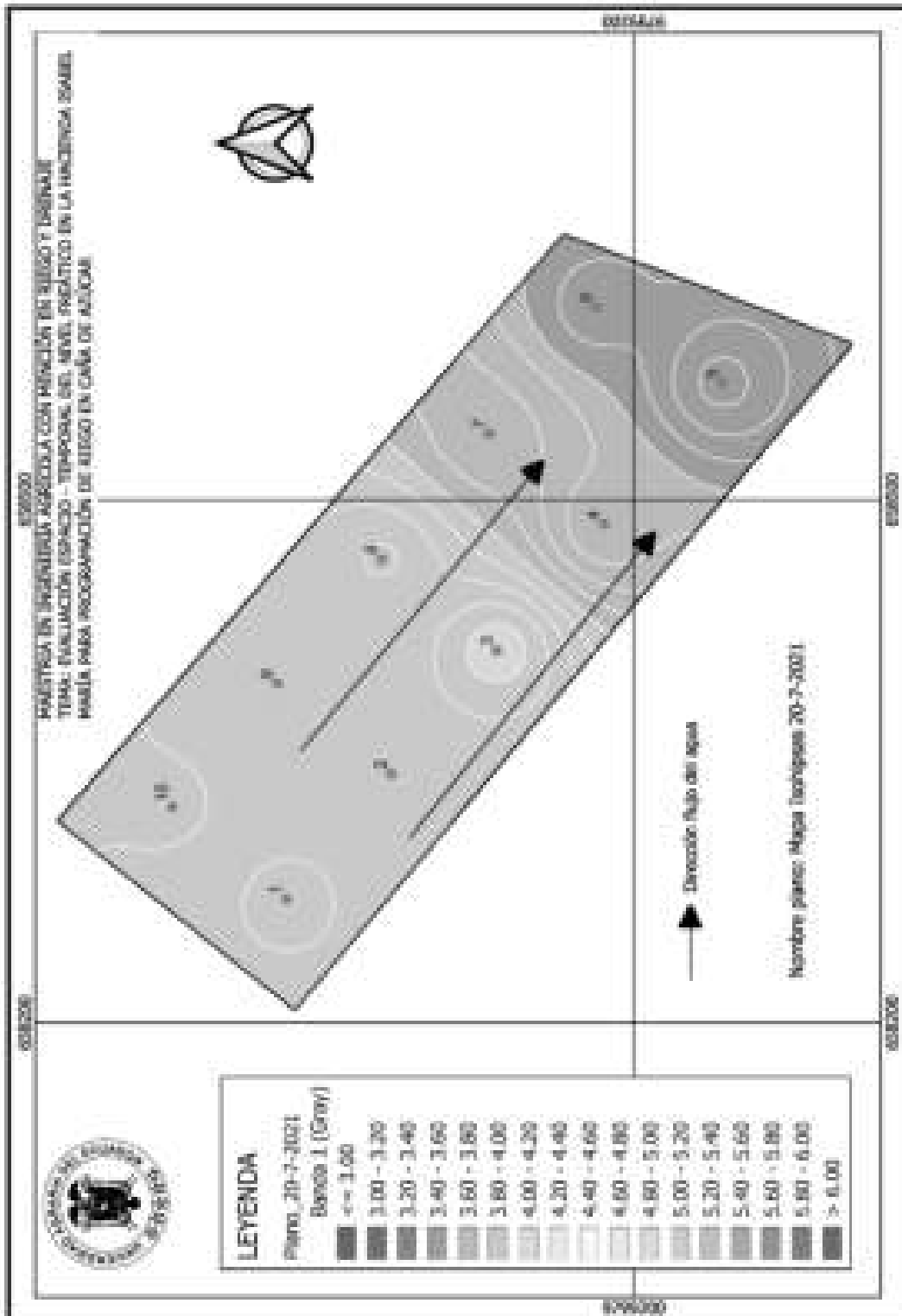
APENDICE # 15



Mapa Isohipsas N° 1. Datos del 23-06-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

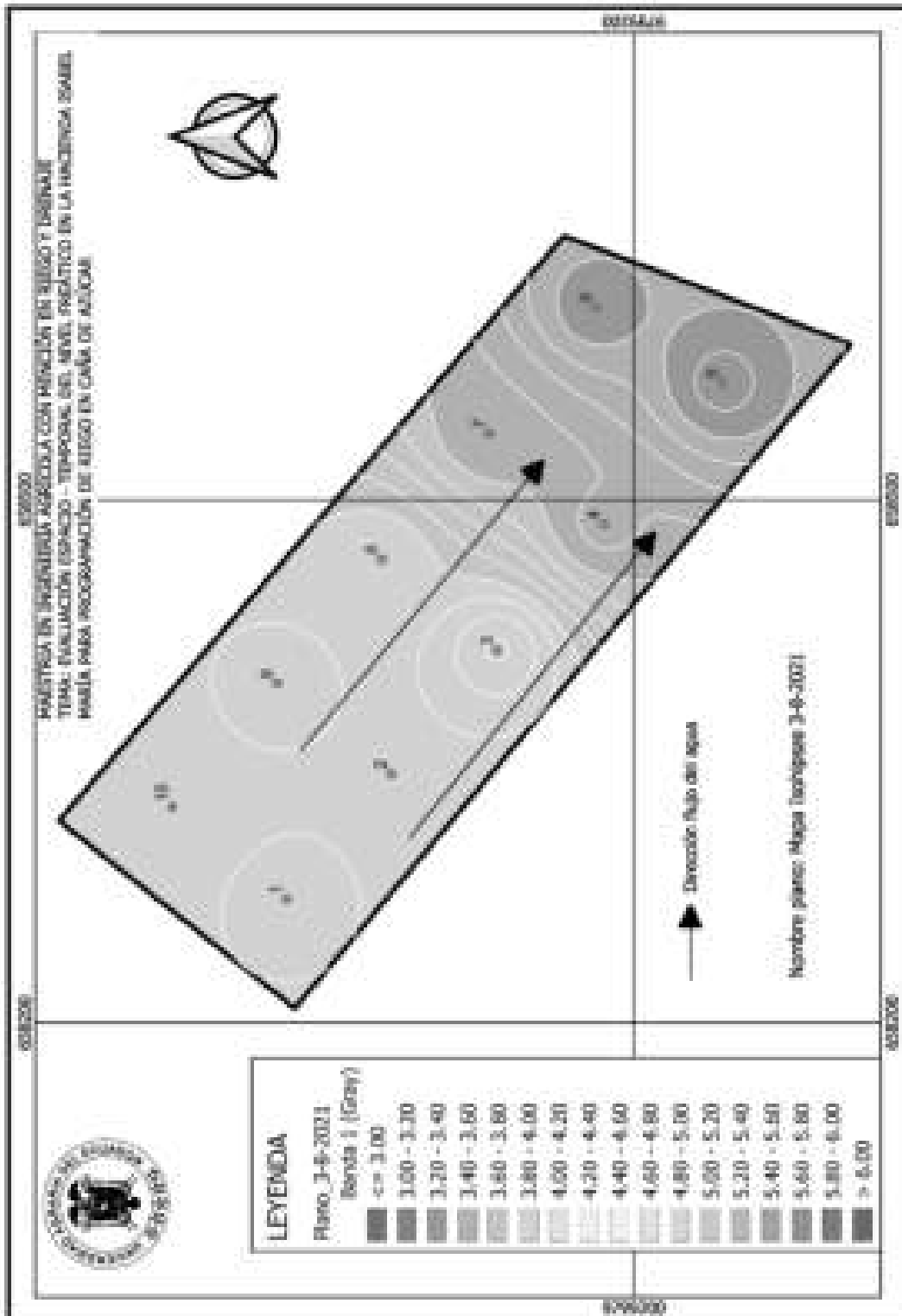
APENDICE # 17



Mapa Isohipsa N° 3. Datos del 20-07-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

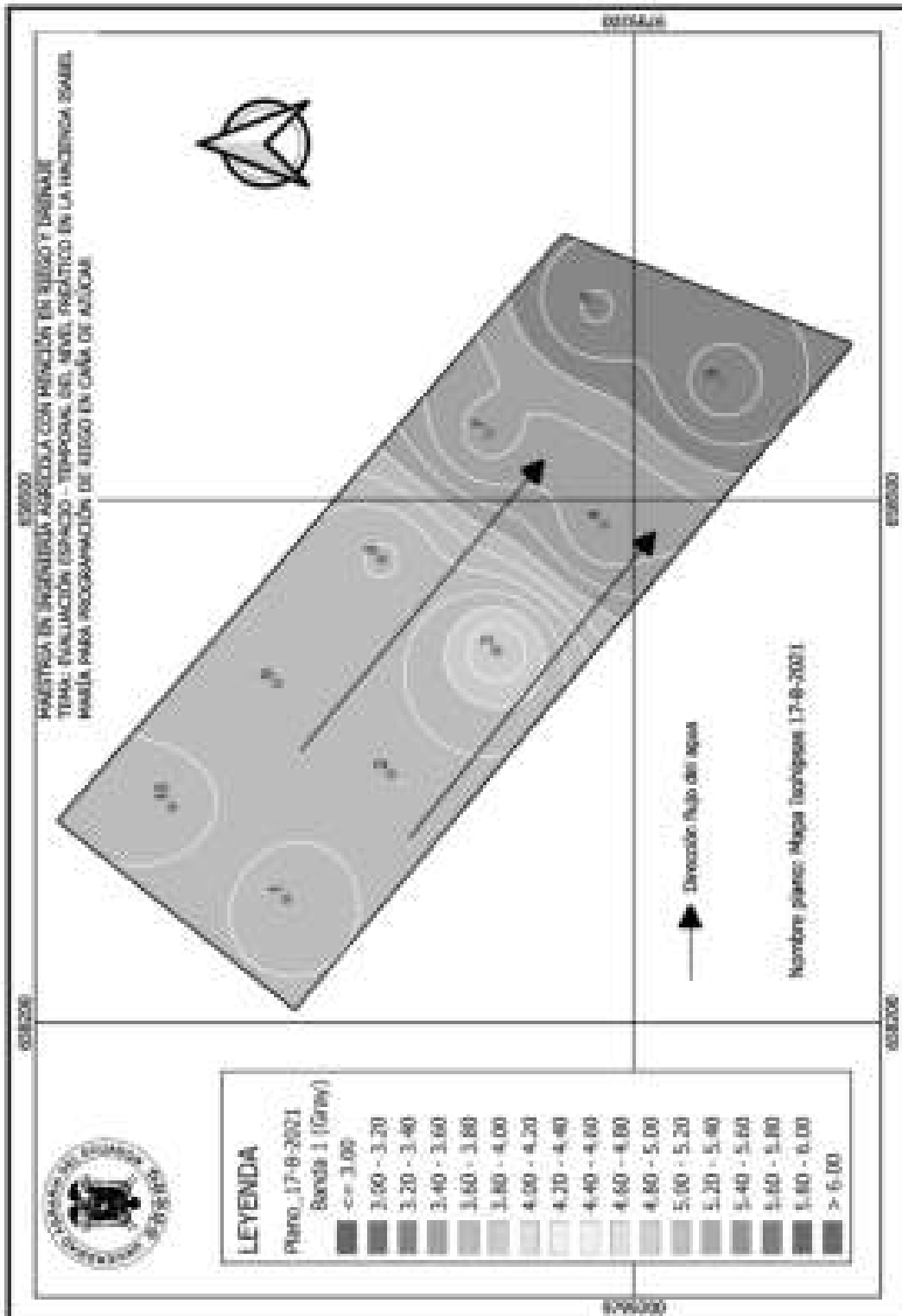
APENDICE # 18



Mapa Isohipsas N° 4. Datos del 03-08-2021.

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

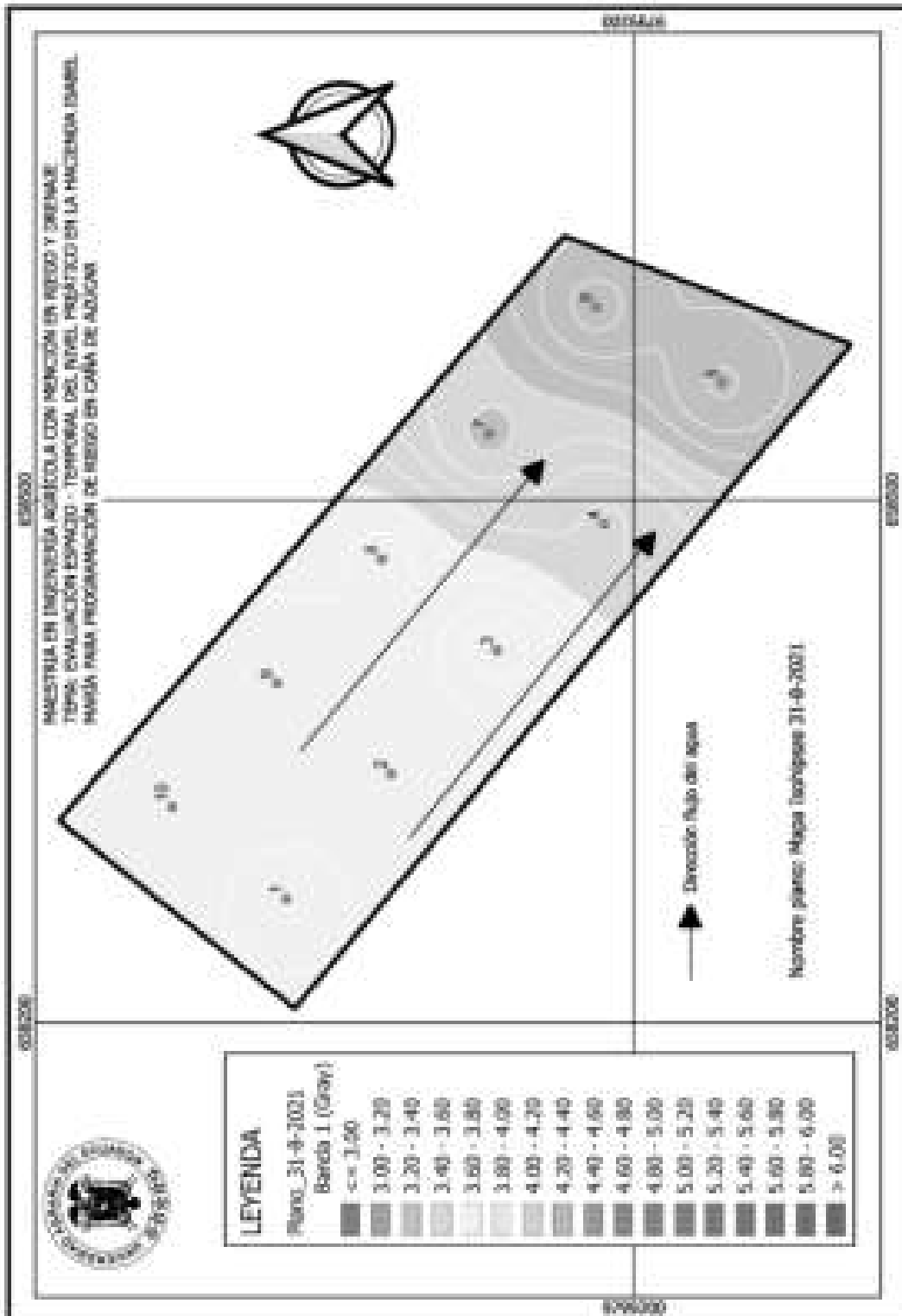
APENDICE # 19



Mapa Isohipsa N° 5. Datos del 17-08-2021.

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

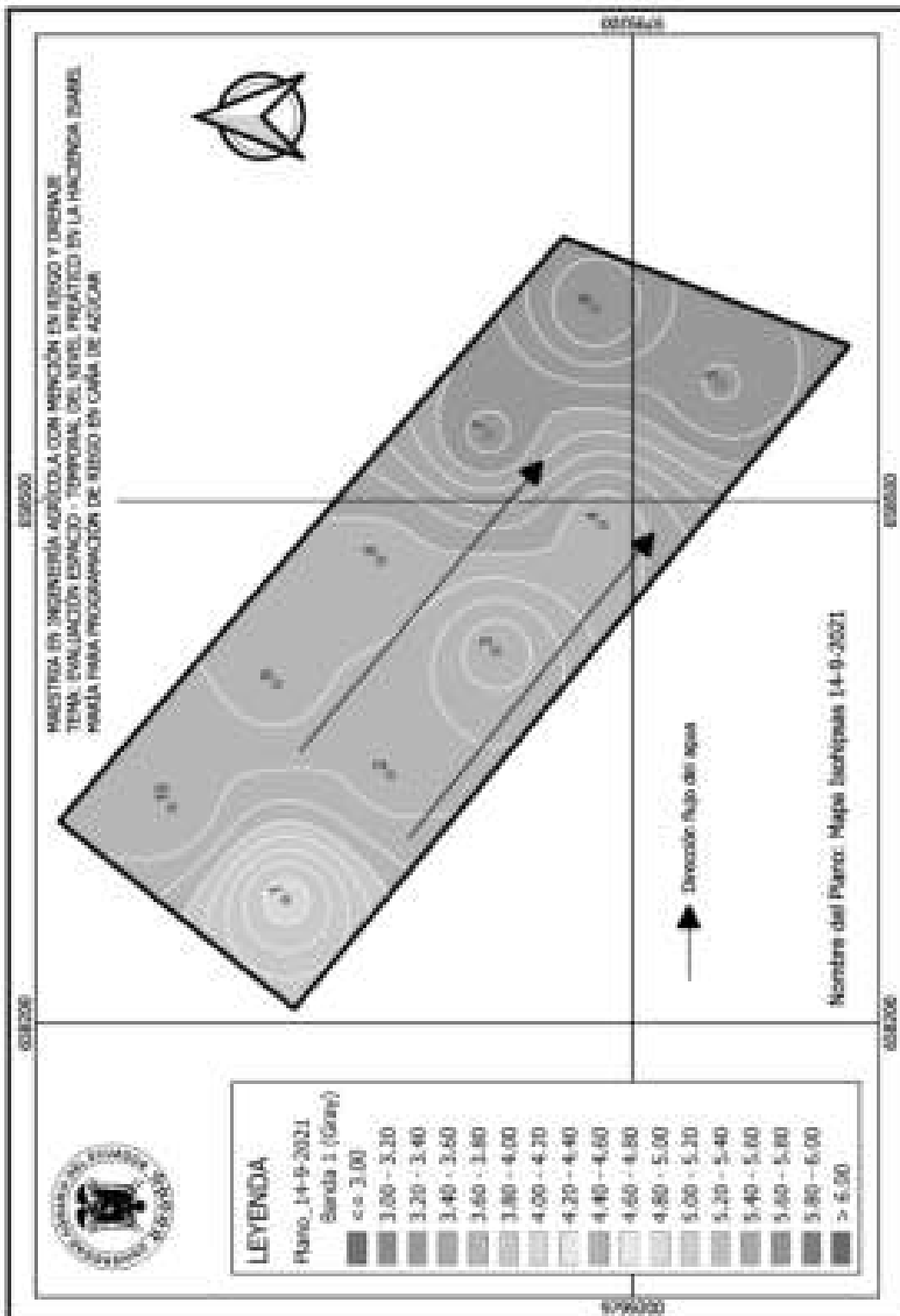
APENDICE # 20



Mapa Isohipsas N° 6. Datos del 31-08-2021.

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

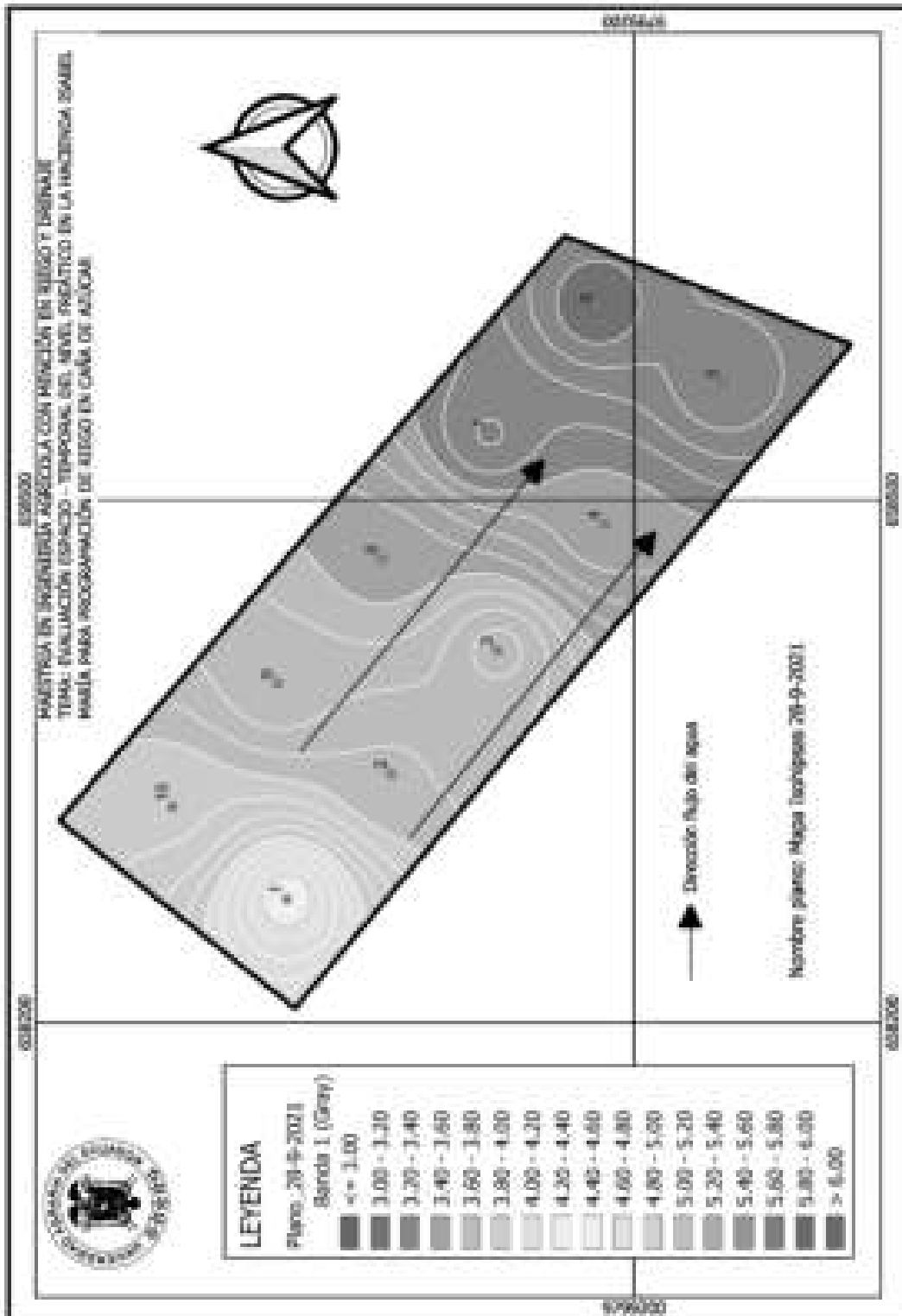
APENDICE # 21



Mapa Isohipsas N° 7. Datos del 14-09-2021.

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

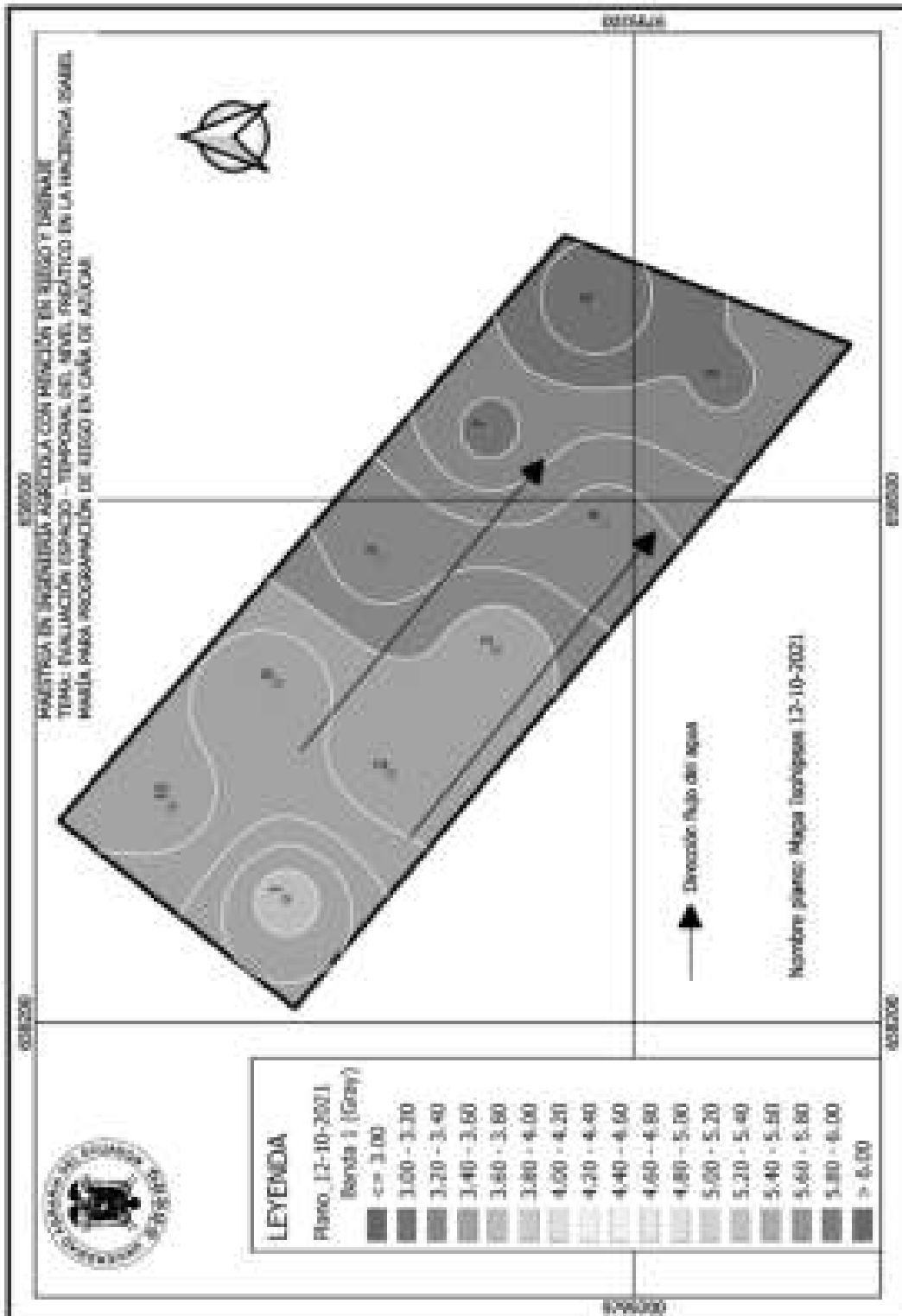
APENDICE # 22



Mapa Isohipsa N° 8. Datos del 28-09-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

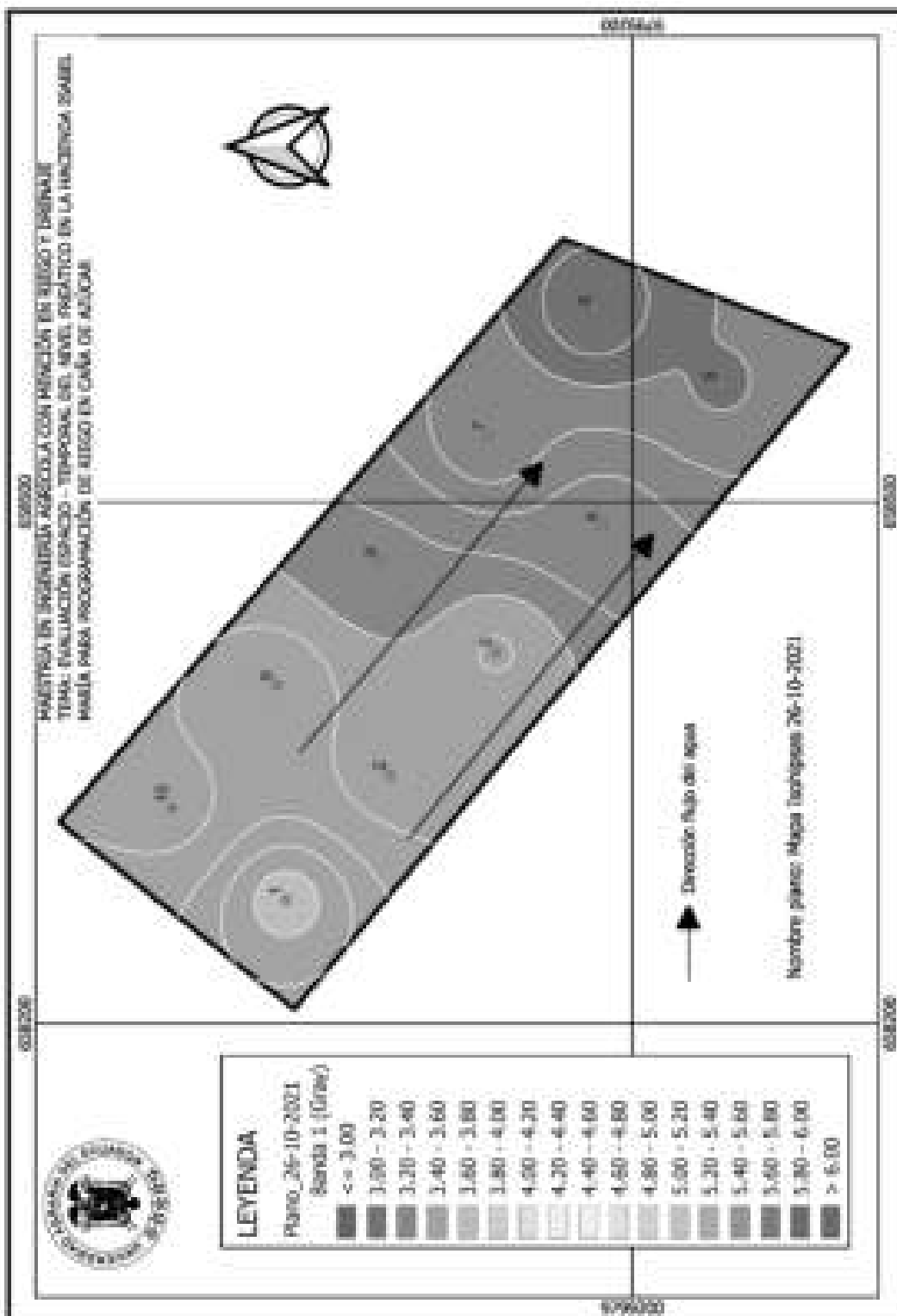
APENDICE # 23



Mapa Isohipsas N° 9. Datos del 12-10-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

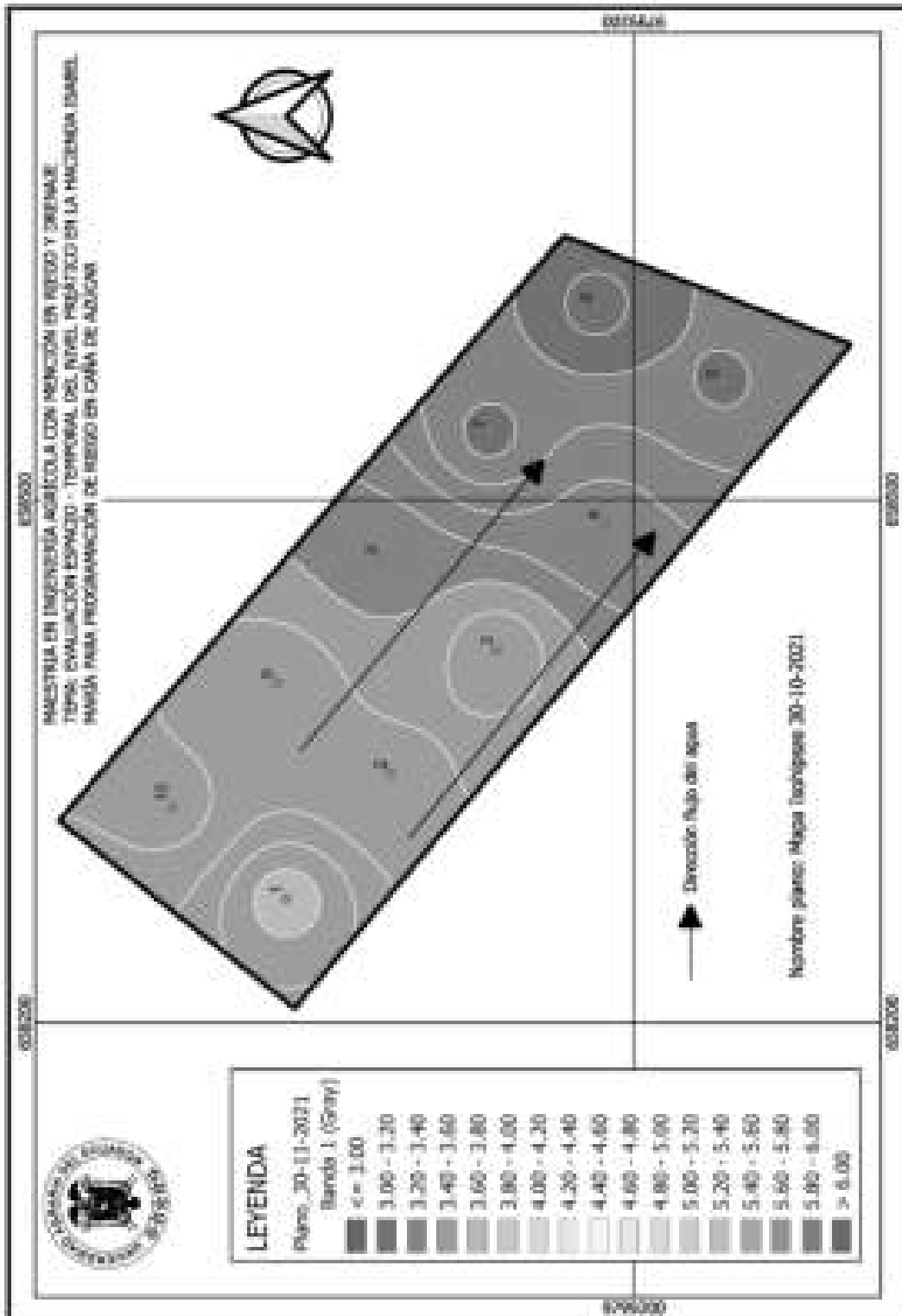
APENDICE # 24



Mapa Isohipsas N° 10. Datos del 26-10-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

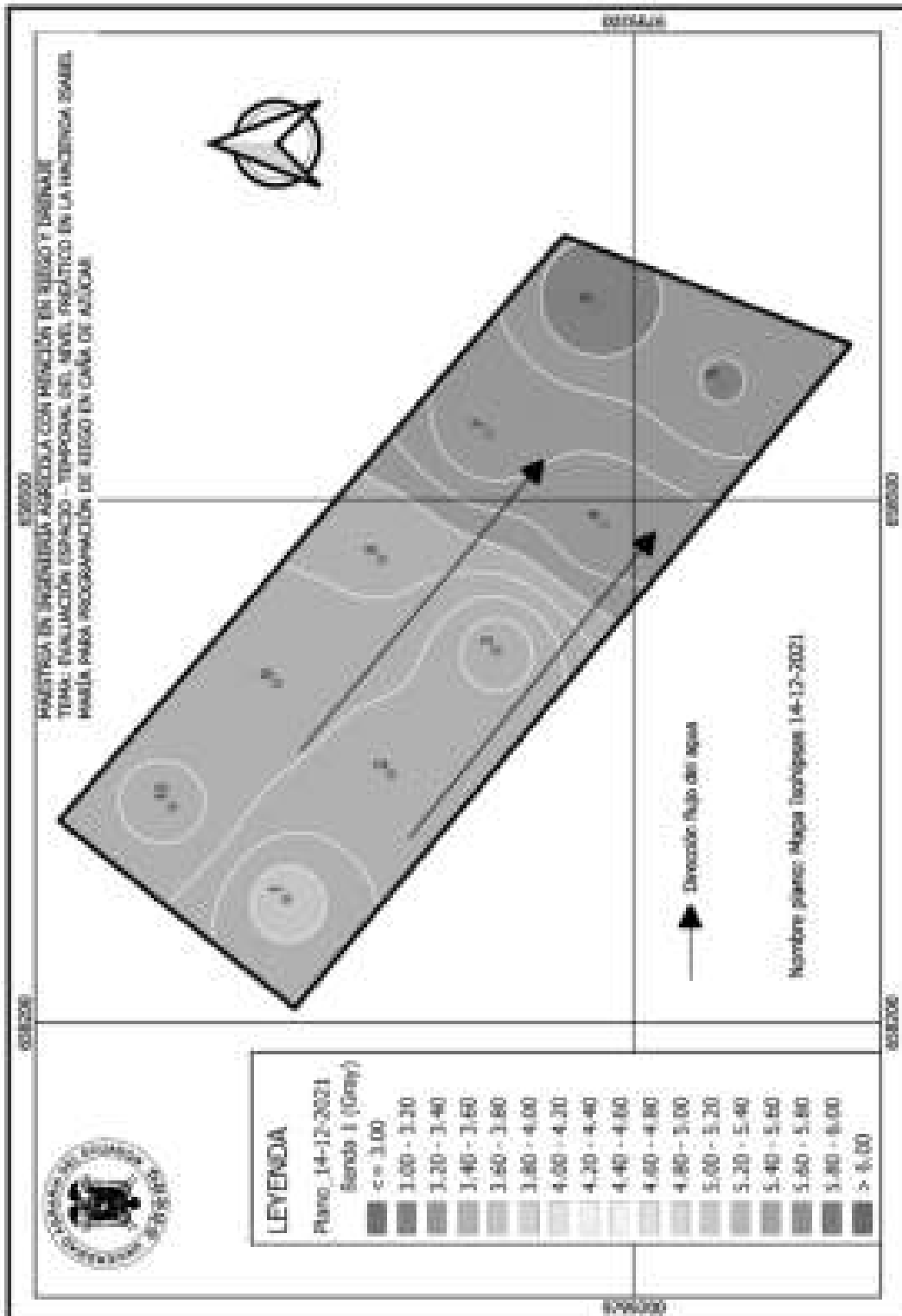
APENDICE # 26



Mapa Isohipsa N° 12. Datos del 30-11-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

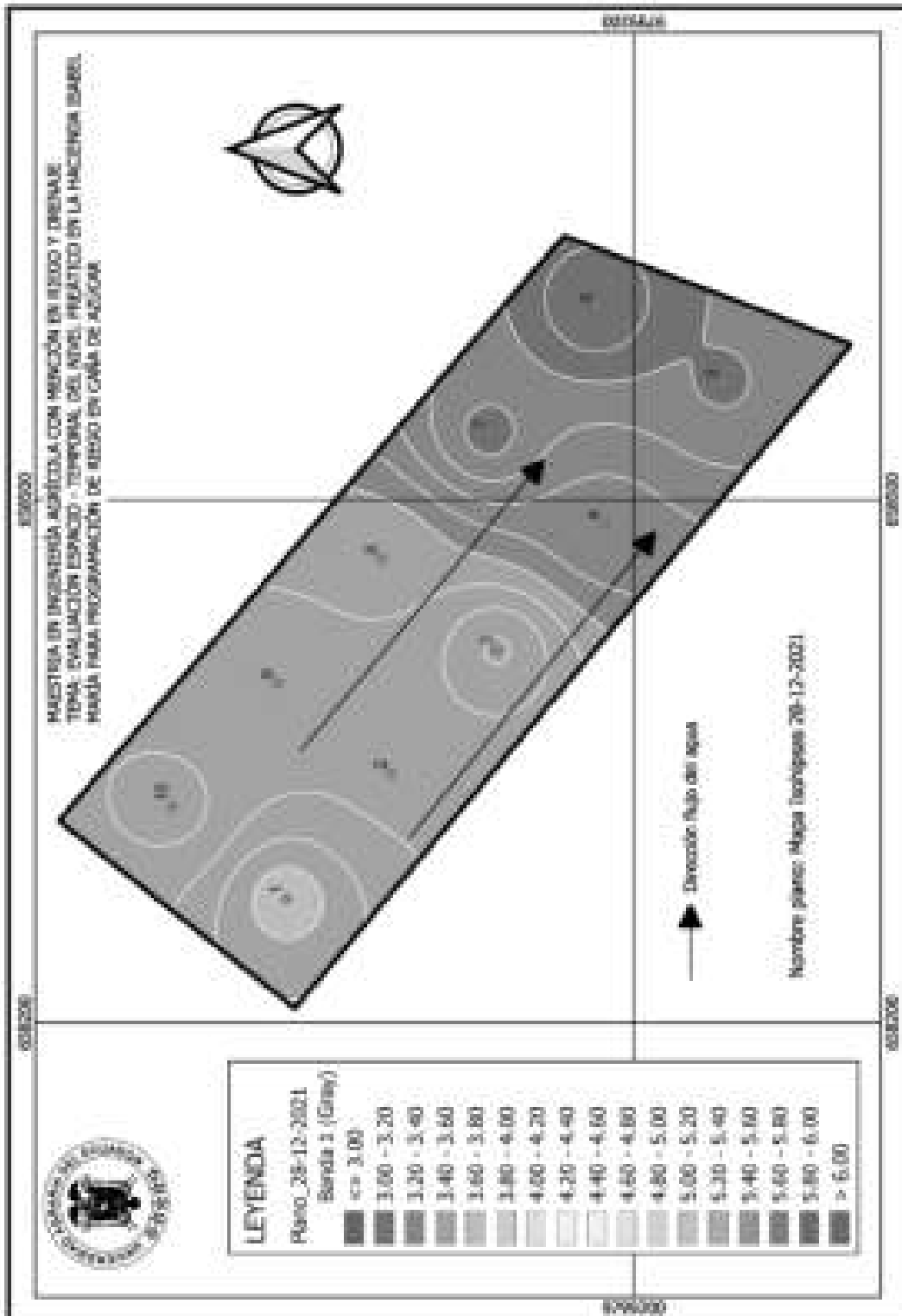
APENDICE # 27



Mapa Isohipsa N° 13. Datos del 14-12-2021

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

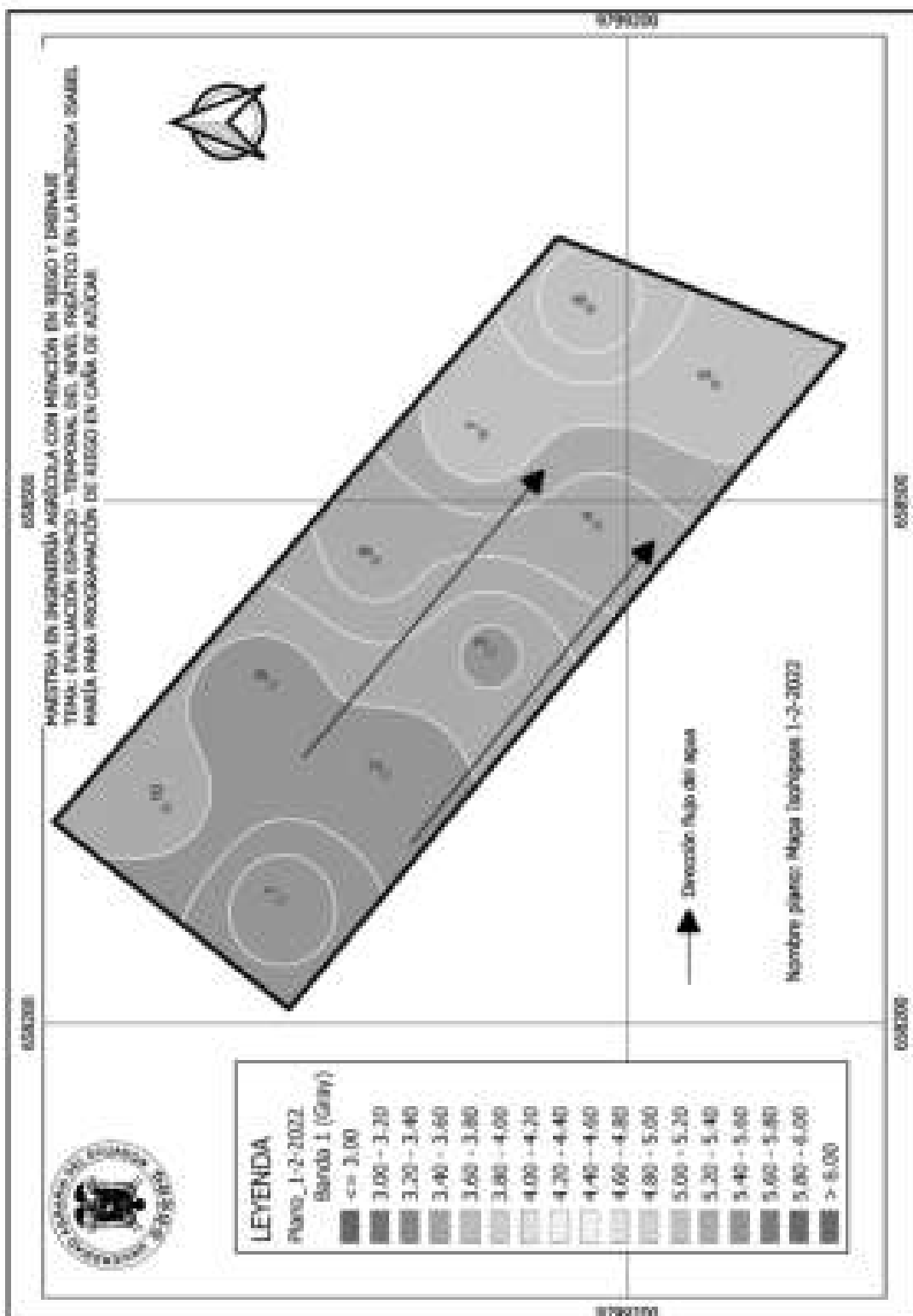
APENDICE # 28



Mapa Isohipsa N° 14. Datos del 28-12-2021.

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

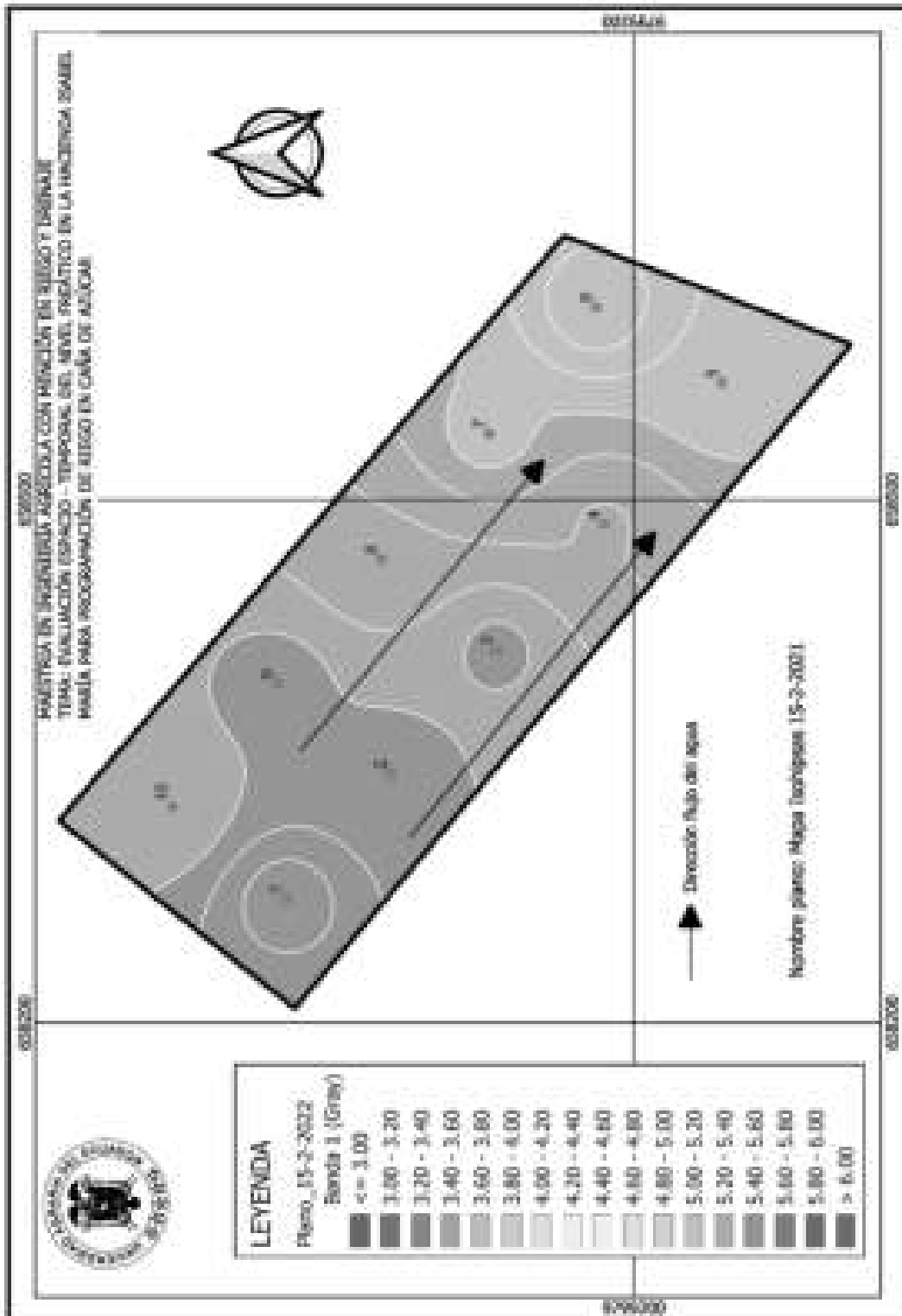
APENDICE # 29



Mapa Isohipsa N° 15. Datos del 01-02-2022

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

APENDICE # 30



Mapa Isohipsa N° 16. Datos del 15-02-2022

Elaborado por: Ing. Federico Salazar Cruz, 2022

REGISTRO FOTOGRAFICO



Ilustración 1. Excavación para Instalación de Freatímetros



Ilustración 2. Instalación de Freatímetro



Ilustración 3. Muestreo de textura de suelos.



Ilustración 4. Recolección de muestras de suelos



Ilustración 5. Toma de niveles freáticos



Ilustración 6. Visita al área de investigación con tutor de Tesis



Maricao, Maricao, 14 de agosto de 2021

Destino:
MARTHA RICARDO DE JORDAN, M.L. C.
SECTORIA
UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
Guayaquil

C-201

De nuestros respetos:

Con la presente certificamos que el ingeniero Esteban Alejandro Solano Cruz, con cédula de identidad # 1204507080, está desarrollando en Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A., su tesis titulada "EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL NIVEL FREÁTICO EN LA FINCA SAN MARÍA PARA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR".

Atentamente,

JOSÉ ANTONIO DOMÍNGUEZ
Gerente de Operaciones

MSB



CERTIFICADO DE ENSAYO

Morona Morona, 4 de julio del 2022

Doctores
MARTHA BOCARAM DE JORGE, M. C.
RECTORA
UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
Cajamajal

VP-PROD-191

De nuestras consideraciones:

En reconocimiento que el ingeniero Federico Alejandro Salazar Cruz, actualmente Jefe de Ingeniería Agrícola y representante de la Universidad Agraria del Ecuador, necesita respaldar las actividades que realizó en el ensayo para el uso de la información en su tesis de maestría que lleva por título: **EVALUACIÓN ESPACIO - TEMPORAL DEL NIVEL PRÁCTICO EN LA HACIENDA TRASEL MARÍA PARA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CAÑA DE AZÚCAR**; certifica que:

1. El ensayo inició el 22 de junio del 2021 con la implantación de parcelas de observación en el área bajo estudio.
2. La evaluación de las variables se la realizó desde el 23 de junio del 2021 hasta el 8 de febrero del 2022.
3. La información se la recibió por la firma de asistencia con personal de la empresa y analizada en nuestros laboratorios de Agronomía.
4. **SOCIEDAD AGRÍCOLA E INDUSTRIAL SAN CARLOS S.A.**, es responsable de la autoría de la información y otorga el permiso para su uso en la tesis de la maestría del Ing. Federico Salazar Cruz.

Asentamos:


JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ BJARNER
Vicepresidente de Producción

SOCIEDAD AGRÍCOLA E INDUSTRIAL SAN CARLOS S.A.
Calle LIA y Pichincha - Teléfono: 3321286 - Fax: 3328876
Guayaquil - Ecuador - www.sancharlos.com.ec