



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PLAN DE REHABILITACIÓN BOFEDAL DE CHICLLA

ELABORADO POR: Fernando Norambuena M. Felipe Reinoso C.	REVISADO POR: Mauricio Farías P. Christian Troncoso	APROBADO POR: Rodrigo Maldonado.
Firma	Firma	Firma

Revisión	Fecha	Modificaciones
0	15/01/2018	

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	3
2	ESTUDIO DE SUELOS.....	4
2.1	Antecedentes.....	4
2.2	Revisión bibliográfica.....	4
2.3	Objetivos.....	7
2.3	Metodología.....	7
2.3.1	Trabajo en terreno	7
2.3.2	Levantamiento fotogramétrico.....	7
2.3.3	Análisis cartográfico	8
2.4	Resultados.....	8
2.4.1	Descripciones morfológicas	8
2.5	Recomendaciones.....	31
2.6	Conclusiones	31
3	IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE MONITOREO IN SITU.....	35
3.1	Calidad de agua	35
3.2	Altura nivel freático.....	35
3.3	Humedad de suelos y potencial mátrico	36
3.4	Variables climáticas.....	37
3.5	Ubicación espacial equipos.....	38
4	TRABAJOS DE MEJORA DE TOPOGRAFÍA DEL ÁREA	39
5	DISEÑO Y VERIFICACIÓN HIDRÁULICA	40
5.1	Diseño.....	40
5.2	Verificación hidráulica de sistema de riego.....	40
6	CONSTRUCCION.....	44
6.1	Replanteo en terreno.....	44
6.2	Sistema de redistribución de agua	44

1 INTRODUCCIÓN

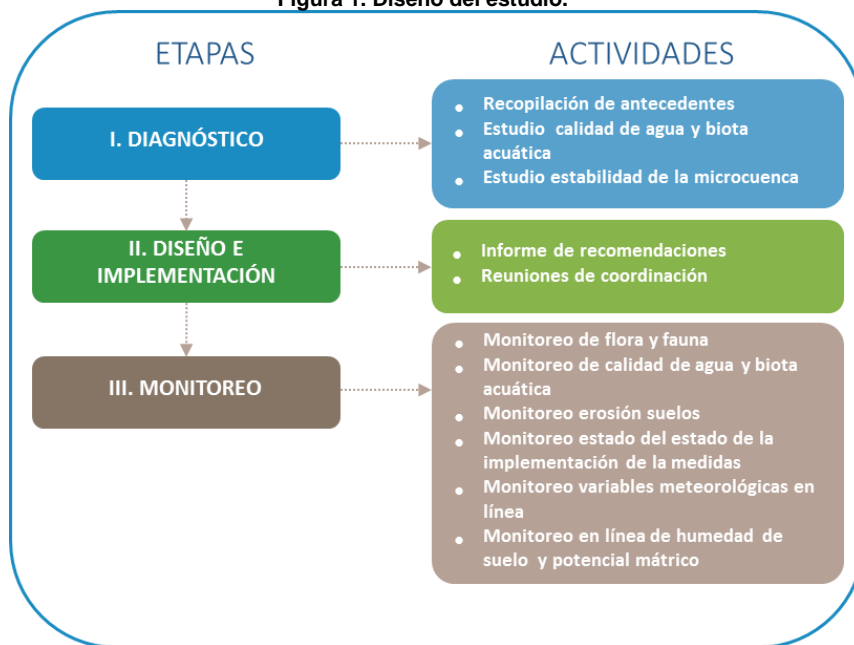
Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC), en su proyecto “Actualización del Plan de Manejo Bofedal de Chiclla”, entrega las acciones, medidas, metodologías y actividades interrelacionadas de monitoreo y operación del sistema, asociadas al vivero y las plantas existentes cuyo objetivo principal es ejecutar acciones que permitan aumentar el área de cobertura de vegetación del bofedal artificial de Chiclla.

Por otro lado, considera los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico actual y proposición de mejoras en el diseño e implementación de la medida.
- Mediante la información recopilada del estudio e información histórica generar un diseño e implementación de la rehabilitación de 2,1 ha de bofedal.
- Realizar un monitoreo que permita realizar un manejo adaptativo del sistema.

En función de estos objetivos, se diseña el estudio en tres etapas, diagnóstico, diseño e implementación y monitoreo y las actividades de cada etapa se resumen en la Figura 1.

Figura 1. Diseño del estudio.



La segunda etapa indicada en la figura, corresponde a lo presentado en el siguiente documento, el cual incluye:

- a) Estudio de suelos.
- b) Implementación sistema de monitoreo in situ
- c) Trabajos de mejora de topografía del área.
- d) Diseño y construcción de sistema de mitigación.
- e) Propagación de especies nativas de la quebrada y su posterior plantación.

2 ESTUDIO DE SUELOS

2.1 Antecedentes

El proyecto Bofedal de Chiclla, ejecutado por Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, fue concebido como una compensación ambiental consistente en la habilitación de un sistema azonal hídrico de tipo bofedal no salino, por efecto de la pérdida de estos ecosistemas debido a la explotación minera en el sector de quebrada Capella.

Los trabajos de establecimiento consideraron la nivelación del suelo, riego por surcos y tendido, y trasplante de O. andina y otras especies acompañantes, en un total de 2,1 ha de acuerdo con una evaluación realizada en marzo de 2002.

La quebrada de Chiclla se ubica en un sector de arrastre aluvional activo, por lo que los suelos corresponden a Entisoles, sin desarrollo de horizontes de diagnóstico, constituyendo un depósito no consolidado con elevada pedregosidad, y materiales finos en la fracción arena, en donde se han producido daños a los sectores trasplantados y regados en cuatro eventos de precipitaciones intensas, los cuales han sido recuperados en más de alguna oportunidad, sin embargo, no recientemente.

En capítulo se presenta una descripción del sector de la quebrada de Chiclla en donde se han realizado trabajos de adecuación de suelos, trasplante y riego, con el objeto de dimensionar la superficie actual con cobertura de bofedal, y ubicar y dimensionar los sectores más aptos para expandir la superficie bajo manejo. Se incluyen descripciones morfológicas y una caracterización fisicoquímica de suelos, y un análisis cartográfico basado en álgebra de mapas a partir de un levantamiento fotogramétrico detallado del sector.

2.2 Revisión bibliográfica

Luego de haber realizado estudios previos y un plan piloto, entre noviembre del 2000 y fines de marzo del 2002, se realizaron los trabajos de adecuación de suelos, riego y trasplante todo el material necesario para cumplir lo comprometido y alcanzar las metas establecidas en el EIA 60 Ktpd del año 1995.

La actividad de trasplante fue programada después de finalizado el invierno una vez que las plantas estuviesen saliendo del período de dormancia.

El trasplante masivo consistió en llevar a gran escala esta actividad manejando el riego en 2,1 hectáreas. Las medidas adoptadas para el buen desarrollo del trasplante masivo fueron las siguientes:

- Se aprovecharon los afloramientos como fuentes casi permanentes de riego para las plataformas que se construyeron bajo ellos.
- Se respetaron las lagunas de mayor tamaño para conservar especies propias de estos hábitats acuáticos tales como patos y anfibios.
- Se probaron tecnologías de corte y transporte utilizadas en el plan piloto.
- Se acondicionaron plataformas y se nivelaron terrazas con maquinaria pesada.
- Se construyeron canales para aguas de regadío según técnica Aymará.

La estrategia estuvo basada en trasplantar la cubierta superior verde del bofedal, cortando con moto sierras pequeños bloques de aproximadamente 40 cm x 25 cm por 10 cm de espesor, que según los ensayos pilotos mostraron buenos resultados por contener las raíces.

Una vez cortados los bloques, fueron transportados en carretillas a tolvas de gran capacidad para ser trasladados a la quebrada de Chiclla. En la quebrada de Chiclla se preparó el terreno nivelándolo con maquinaria pesada y se procedió con una nivelación fina, a mano, con no más del 2% de pendiente donde se retiraron las piedras de mayor tamaño. Se realizaron con retroexcavadora canalizaciones para las aguas lluvias y se realizaron a mano pequeños canales de riego. Posteriormente se preparó la superficie con materia orgánica (turba del mismo bofedal de Capella) y se procedió a humectar el terreno, dejándolo así en condiciones para recibir los bloques o champas. Considerando los resultados obtenidos y las numerosas fuentes de agua de la quebrada, se optó por aprovechar estas últimas, para crear aguas abajo de éstas, terrazas en las cuales aplicar las técnicas de manejo de riego.

También se consideró que estos afloramientos, son permanentes todo el año, aunque muestran variaciones del caudal dependiendo de las precipitaciones. La localización de cada plataforma y su dimensión dependen de la topografía y del caudal de las fuentes de aguas cercanas.

Desde diciembre del 2000 a fines de Marzo del 2001 se plantó una superficie aproximada de 8.500 m² parte de la cual fue dañada por temporales de lluvias en forma irrecuperable. Asimismo, parte del follaje del bofedal trasplantado fue cubierto con sedimentos arrastrados debido al desborde de los canales de aguas lluvias y canales de drenaje. Fue necesaria la limpieza de las champas para asegurar el proceso fotosintético, y para reconstruir el relleno de material fino entre las champas.

Durante noviembre del 2001 hasta febrero del 2002, se comenzó por reparar los daños de la temporada anterior. Esto implicó reconstruir canales de aguas lluvias, canales de drenaje, rellenos entre champas, reparación de caminos, nivelación fina, reparar sistemas de riego y reconstruir y hacer nuevas terrazas, con maquinaria pesada, en el sector más bajo del proyecto debido a las pérdidas causadas por las lluvias.

Durante este último período, se realizaron los siguientes trabajos:

- Se repararon y confeccionaron terrazas nuevas con maquinaria pesada preparando una superficie útil de 8.000 m² adicionales en perfectas condiciones para trasplante.
- Se realizó nivelación fina de las terrazas en forma manual, logrando una superficie útil de 1.544 m².
- Se realizó el levantamiento del área trasplantada, alcanzando los 12.000 m².
- Finalmente, la evaluación del programa de compensación al 30 de marzo de 2002 fue considerada como satisfactoria, indicando un resultado exitoso del proyecto de trasplante masivo de bofedal en quebrada Chiclla.

Fotografía 1. Quebrada de Chiclla y afluente en el sector de cabecera de los trabajos de transplante de bofedales.



Fotografía 2. Sector de bofedal artificial en quebrada de Chiclla



2.3 Objetivos

- i. Caracterizar la Quebrada de Chiclla en cuanto a los sectores con presencia de cobertura vegetal de bofedal y los tipos de suelos.
- ii. Establecer estadística descriptiva de la quebrada de Chiclla.
- iii. Identificar los sectores con mayor potencial para expandir la cobertura vegetal de bofedal.

2.3 Metodología

2.3.1 Trabajo en terreno

Con fecha 9 de noviembre de 2017 se realizó la campaña de terreno en quebrada Chiclla, en donde se describieron 8 sectores, de los cuales 1 corresponde a un bofedal de referencia aguas abajo del sector intervenido por los trabajos de habilitación. En tabla 1 se indican las coordenadas de los sitios de descripción.

Tabla 1. Coordenadas sitios de descripción

Sitio	Este (m)	Norte (m)
SITIO 1 (bofedal natural)	527.627	7.675.536
PRETIL	527.246	7.674.869
SITIO 2 (bofedal natural) (muestra de suelos)	526.942	7.674.197
SITIO 3 (bofedal artificial) (muestra de suelos)	527.291	7.674.967
SITIO 4 (bofedal artificial)	527.345	7.675.076
SITIO 5 (bofedal artificial)	527.386	7.675.184
SITIO 6, (trasplante reciente)	527.449	7.675.318
SITIO 7 (suelo desnudo)	527.533	7.675.462
SITIO 8 (suelo desnudo)	527.655	7.675.598
SITIO 10 (pajonal)	527.719	7.675.690
SITIO 11 (suelo desnudo)	527.752	7.675.725
SITIO 12. (suelo desnudo)	527.805	7.675.808
SITIO 13 (pajonal)	527.861	7.675.881

Las descripciones morfológicas se enfocaron en la identificación de horizontes genéticos y sus propiedades de acuerdo con los estándares de descripción morfológica utilizados habitualmente para ello, en donde fue relevante la identificación de los materiales parentales y pedregosidad, particularmente para una condición natural y su comparación con una situación artificial. Las muestras de suelos fueron enviadas al laboratorio de la UCV Facultad de Agronomía, laboratorio acreditado ISO 17.025 para el análisis capacidad de intercambio catiónico (CIC), cationes intercambiables, saturación básica, contenido de materia orgánica, cationes y aniones solubles, RAS, porcentaje de sodio intercambiable (PSI), conductividad eléctrica (CE), pH, textura, densidad aparente y retención de agua (-33 y -1500 kPa).

2.3.2 Levantamiento fotogramétrico

Se realizó un levantamiento fotogramétrico en escala 1:750 con recubrimiento estereoscópico superior a 90%, el que entregó a través de procesamiento mediante fotogrametría digital, ortofoto verdadera con resolución de píxel de 7,5 cm, y modelo digital de superficie (DSM) con resolución horizontal y vertical de 30 cm.

2.3.3 Análisis cartográfico

A partir de la ortofoto se generaron índices normalizados para segmentar las áreas con cobertura vegetal de bofedal de aquellas de suelo desnudo y áreas de coironal. Desde el DSM se obtuvieron curvas de nivel, y un plano de isohypsas con la cota del nivel freático, seleccionando las cotas de agua libre en superficie.

Con esta información se realizó vía álgebra de mapas un nuevo plano para relacionar la profundidad del nivel freático y la presencia de cobertura de bofedal, así también con las áreas de suelo desnudo. Como análisis y recomendación, se establecieron las áreas más aptas para expandir la cobertura de bofedal considerando los resultados estadísticos de diferencia de altura de suelo respecto del nivel freático.

2.4 Resultados

2.4.1 Descripciones morfológicas

En la quebrada de Chiclla los suelos corresponden a depósitos aluviales y coluviales activos, con abundante presencia de pedregosidad y dominancia de texturas gruesas, areno francosa a franco arenosas (Fotografía 3). En las áreas con presencia de bofedales en condición natural, se describe un horizonte gley a más de 20 cm de profundidad, con saturación permanente desde la superficie o muy cercano a ella (Fotografía 4). Cabe destacar que en la situación de referencia no se describió un epipedón orgánico hístico, aunque este si fue descrito en un sector bajo bofedal, en condición artificial con un espesor de 13 cm (Fotografías 5 y 6). Los suelos sin cobertura vegetal no evidencian desarrollo de horizontes, correspondiendo a depósitos no consolidados en más de 1 m de profundidad, con pedregosidad mayor a 30%, de color pardo 10YR 5/3.

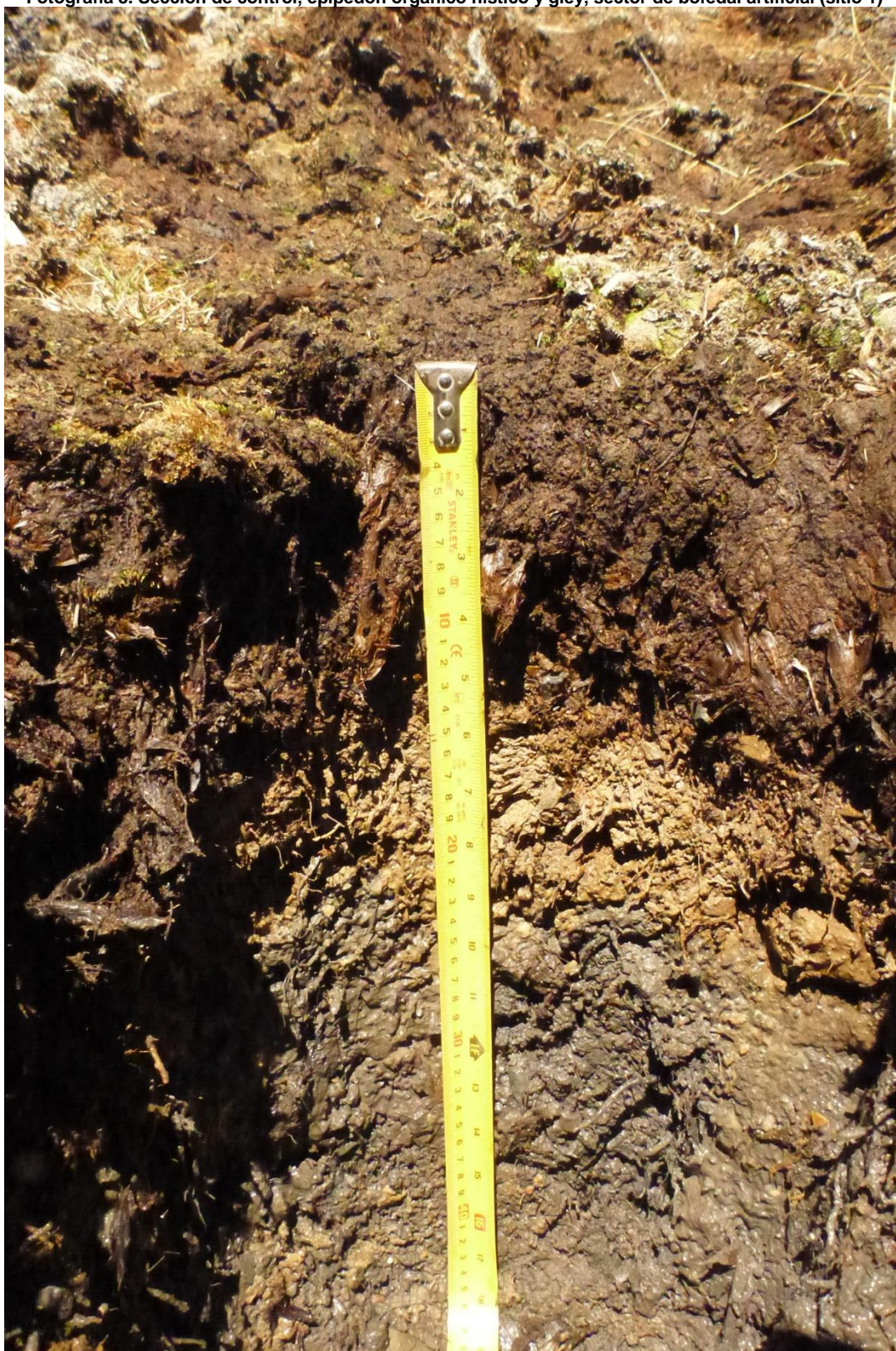
Fotografía 3. Paisaje general de quebrada Chiclla, sector aluvional con abundante presencia de pedregosidad.



Fotografía 4. Sección de control, horizonte gley, sector de bofedal natural (sitio 2).



Fotografía 5. Sección de control, epipedón orgánico hístico y gley, sector de bofedal artificial (sitio 1)



Fotografía 6. Epipedón hístico en sector de cobertura de bofedal artificial (sitio 3).



Bofedal artificial (Sitio 1)

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 13 Oi	Negro 10 YR 2/1 (húmedo); horizonte orgánico hístico.
13 – 22 A	10 YR 5/3 (húmedo); franco arenosa, no plástico, no adhesivo; sin estructura; friable. Poros finos y medios abundantes. Raíces finas y medias abundantes. Gravas muy finas comunes. Límite lineal abrupto.
22 – 50 2Bg	Gley 5/N (húmedo); franco arenosa, no plástico, no adhesivo; sin estructura; friable. Poros finos y medios abundantes. Sin. Gravas muy finas comunes.

Bofedal de referencia (Sitio 2)

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 24 A	10 YR 3/3 (húmedo); franco arenosa, ligeramente plástico, no adhesivo; sin estructura; friable. Poros finos y medios abundantes. Raíces finas y medias abundantes. Límite lineal abrupto.
24 – 48 2Bg	Gley 1 4/N (húmedo); franco arenosa, ligeramente plástico, no adhesivo; sin estructura; friable. Poros finos y medios abundantes. Raíces muy finas abundantes.
48	Nivel freático

Bofedal artificial (sitio 3)

Profundidad (cm)	Descripción
0 – 45 Oi	Negro 10 YR 2/1 (húmedo); horizonte orgánico hístico.
45	Nivel freático

2.4.2 Cartografía de suelos

De acuerdo con las descripciones morfológicas se establecieron 7 unidades cartográficas de suelos en el área de estudio, según se indica en tabla 2. En Figuras 2, 3 y 4 se presenta la Cartografía de Suelos.

Tabla 2. Unidades cartográficas de suelos.

Unidad cartográfica	Descripción	Superficie (m²)
AGUA	Agua libre en superficie	579
ALUVIAL	Depósito no consolidado de más de 1 m de potencia, clase textural franco arenosa a areno francosa, color parlo en el 10 YR, pedregosidad abundante y escasa vegetación. Ocupa una posición de fondo de quebrada en el área de depósitos aluvio coluviales activos, de topografía irregular de 2 a 5 % de pendiente, disectado por escarpes y áreas de escurrimiento preferente.	13.134
ANTRÓPICO	Sector modificado por construcción de áreas para riego por inundación. Corresponde a áreas de suelo de tipo Aluvial, modificado por eliminación de pedregosidad, nivelación y plantación de especies del bofedal, por lo que puede presentar restos orgánicos hísticos en superficie.	4.314
BOFEDAL	Unidad que presenta un horizonte orgánico hístico y nivel freático cercano a la superficie. Puede incluir sectores de bofedal con horizonte orgánico muy delgado o inexistente, sobre depósitos aluviales de clase textural franco arenosa a areno francosa, y presencia de horizonte gley a más de 20 cm de profundidad.	9.336
ESCARPE	Unidad que representa sectores de pendiente escarpada en 30 a 50%, producto de diversos eventos de depositación aluvional. El suelo corresponde a texturas franco arenosas a areno francosas con abundante pedregosidad superficial y en el perfil.	869
ESCURRIMIENTO	Áreas de escurrimiento preferencial con abundante pedregosidad.	471
PAJONAL HÍDRICO	Sectores de suelo de textura franco arenosa a areno francosa, pedregosidad común. Puede presentar horizonte gley a partir de 20 cm de profundidad. Presenta vegetación de pajonal de cobertura dispersa.	2.304

Coordinate System: WGS 1984 UTM zone 19S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 false easting: 500,000.0000
 false northing: 10,000,000.0000
 central meridian: -69.0000
 scale factor: 0.9996
 latitude of origin: 0.0000
 Units: Meter

0 5 10 20 30 40 m

AGUA
 ALUVIAL
 ANTROPICO
 BOFEDAL
 ESCARPE
 ESGUERRIMIENTO
 PAJONAL HIDRICO

Figura 3. Cartografía de suelos (sección 2).

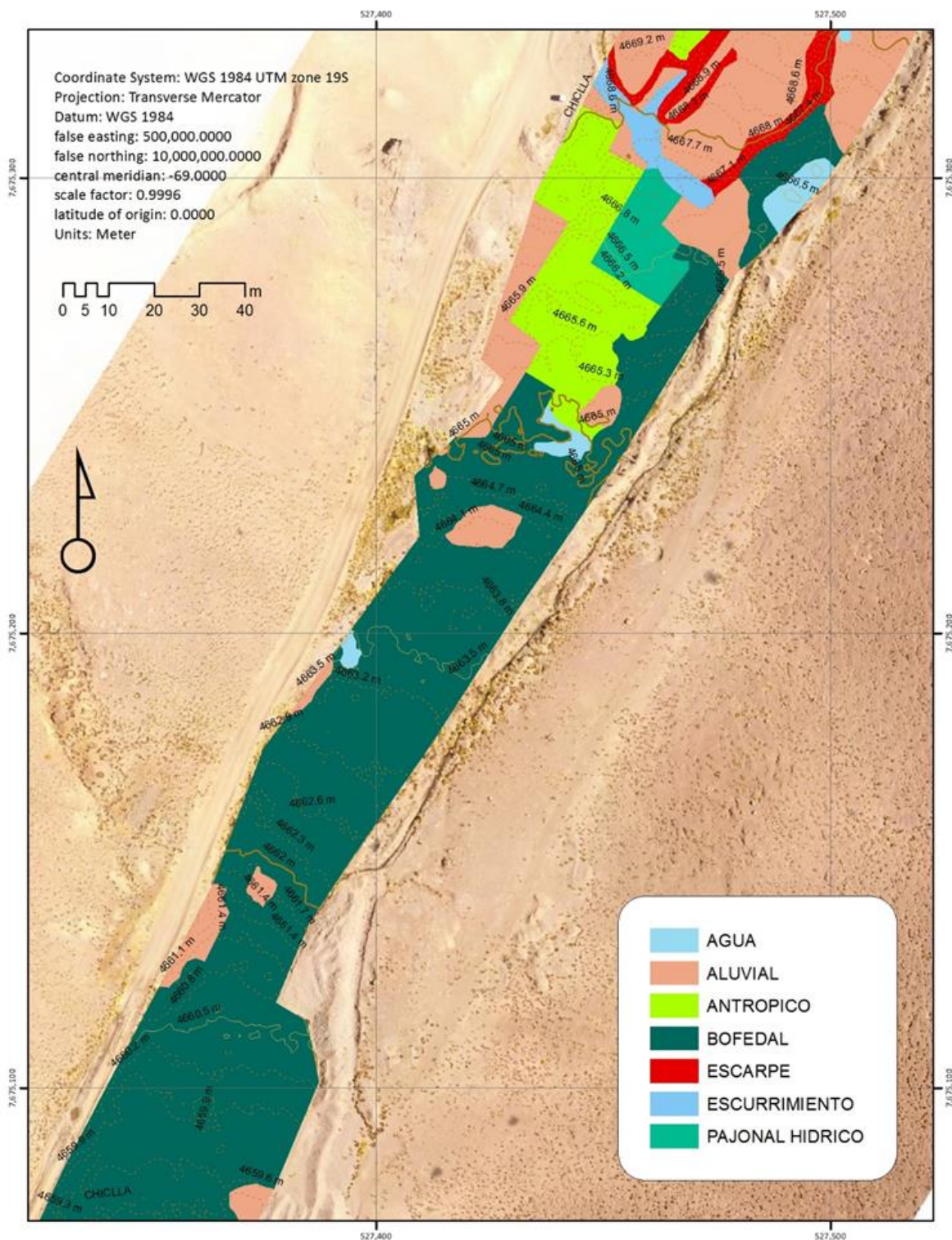
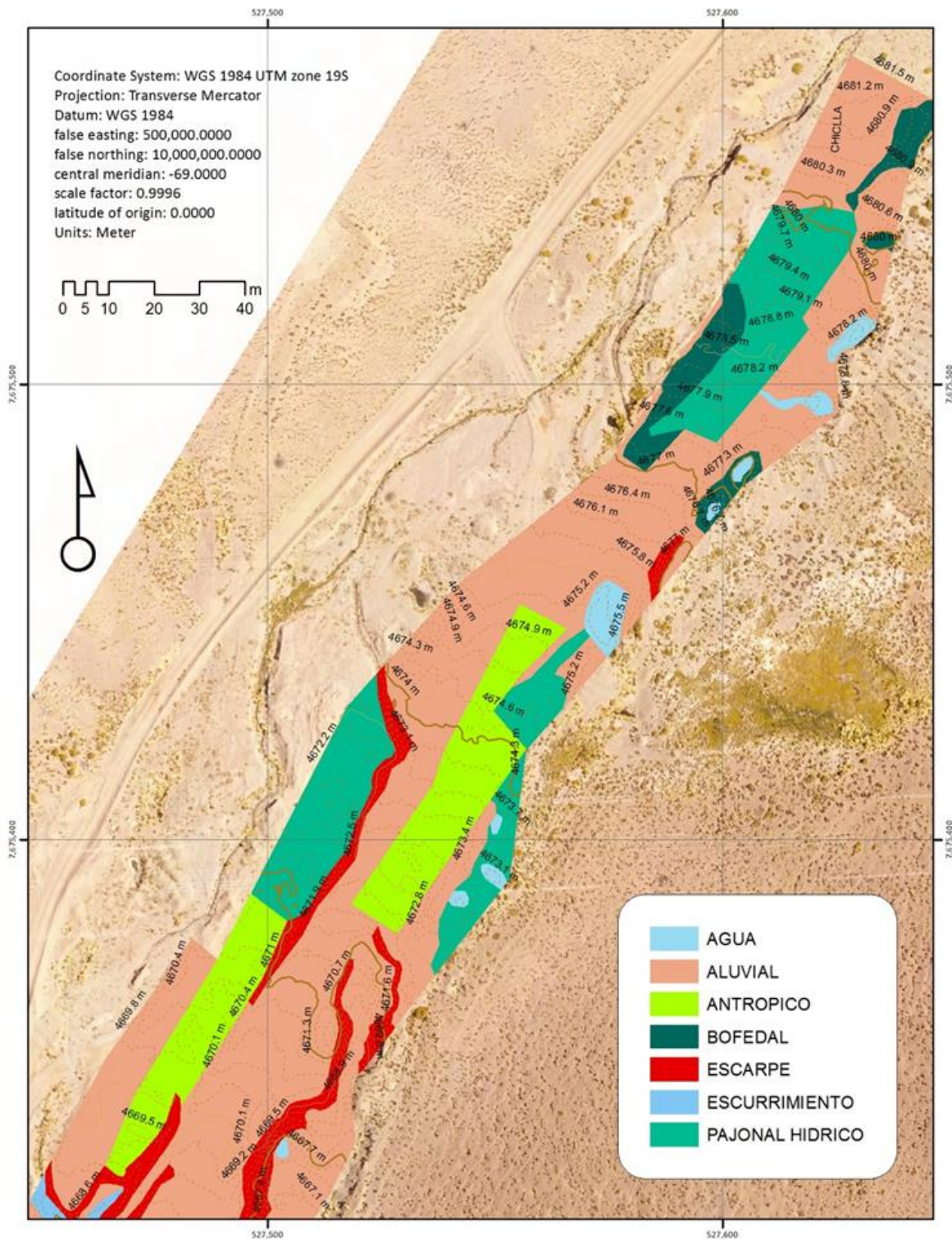


Figura 4. Cartografía de suelos (sección 3).



2.4.3 Caracterización fisicoquímica

En tabla 3 se presentan los resultados de la caracterización físico química determinada en laboratorio. Se observa que los suelos presentan una baja CIC, bajo los 7 cmol/kg, una elevada saturación básica superior al 100%, con elevada saturación de Calcio (mayor al 70%), bajos contenidos de materia orgánica y pH neutro a ligeramente alcalino. La salinidad es muy baja, así también el PSI. El análisis de distribución de tamaño de partículas indica una predominancia de la fracción arena, en un rango de 69 a 75%, con clases texturales areno francosa y franco arenosa.

La capacidad de retención de agua se encuentra en el rango de 19,6 a 26,5 % a 33 kPa, y de 7,97 a 9,97 % a 1500 kPa. La densidad aparente se determinó en 1,1 a 1,29 g/cm³ lo que corresponde a materiales de origen mineral.

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de suelos.

Variable	Unidad	SITIO 2 (condición natural)	SITIO 3 (condición artificial)
CIC	cmol(+)/kg	1,34	6,68
POTASIO INT.	cmol(+)/kg	0,31	0,43
SODIO INT.	cmol(+)/kg	0,2	0,3
CALCIO INT.	cmol(+)/kg	5,7	4,79
MAGNESIO INT.	cmol(+)/kg	1,58	1,42
CIC (SUMA)	cmol(+)/kg	7,79	6,94
Saturación básica		>100 %	>100 %
pH		6,96	7,13
CE	dS/m	0,72	1,03
MO (%)	(%)	1,68	3,12
Sodio	mmol+/L	1,13	1,8
Calcio	mmol+/L	0,2	0,38
Magnesio	mmol+/L	1,5	1,98
Bicarbonato	mmol+/L	1,44	0,96
Sulfato	mmol+/L	1,98	4,12
RAS		1,23	1,65
PSI	(%)	1,75	2,34
Arena	(%)	75	69
Arcilla	(%)	5	5
Limo	(%)	20	26
Ret. Agua 33 kPa	(% p/p)	19,6	26,5
Ret. Agua 1500 kPa	(% p/p)	7,97	9,97
Densidad aparente	g/cm ³	1,29	1,1
Clase textural		Areno francosa	Franco arenosa

2.4.4 Análisis cartográfico

En Figuras 7, 8 y 9 se presenta la ortofoto producto de levantamiento fotogramétrico con curvas de nivel con equidistancia de 30 cm. Sobre esta base cartográfica se delimitó un área de estudio de 3,1 ha.

A partir de las bandas 2 y 3 del espectro, se construyó un índice normalizado de diferencias, el que se relacionó a la intensidad del verde, por lo cual resulta una relación directa con la cobertura de bofedal, lo cual permitió la estimación de la superficie efectiva de esta categoría. El resultado se presenta en las Figuras 10, 11 y 12. En Cuadro 4 se indican las superficies de acuerdo con la intensidad del verde, con un total de 10.351 m² de cobertura de bofedal. Esta superficie puede incluir sectores de agua libre en superficie y pajonales aislados y dispersos.

Cabe señalar que la intensidad de verde en la categoría más baja se asocia a vegetación amarillenta y dispersa, como por ejemplo pajonales, mientras que en el extremo más alto de la escala de colores se asocia a bofedal verde con cobertura de 100%.

En Figuras 13, 14 y 15 se presenta un plano de isohypsas construido con las cotas de los sectores con agua libre en superficie utilizando modelamiento geoestadístico de Kriging. Este modelo, se interceptó con el modelo de superficie (DSM) para obtener las diferencias de altura de suelo respecto del nivel freático, en donde un valor positivo indica que el nivel del suelo se encuentra bajo la cota del nivel freático y un valor negativo indica que el suelo se encuentra por sobre este.

Luego este plano de diferencias de cota se interceptó con el plano de índice normalizado de diferencias de verde para obtener la relación entre los sectores con presencia de vegetación de bofedal y la diferencia de cota del suelo respecto del nivel freático. El resultado se presenta en tabla 4 y Figuras 16, 17 y 18, únicamente para los sectores con presencia de vegetación. De acuerdo con esto, la mayor superficie de vegetación se encuentra en sectores en donde la diferencia de cota del suelo respecto del nivel freático varía entre -30 y +10 cm, con 8.160 m² lo que representa un 78,8 % del total de la superficie (Figuras 5 y 6).

Tabla 4. Superficie (m²) según diferencia de altura de suelo respecto del nivel freático y categoría de intensidad de verde en sectores con presencia de cobertura de bofedal.

Categoría	Diferencia de altura (m)	Superficie (m ²) según Intensidad de verde (sectores con presencia de cobertura de bofedal)					
		1	2	3	4	5	Total
1	-2.,3	0.,0					0.,0
2	-2.,2	0.,5					0.,5
3	-2.,1	8.,9	0.,8	0.,0			9.,7
4	-2.,0	11.,1	2.,5	0.,6	0.,1	0.,1	14.,4
5	-1.,9	9.,1	4.,3	1.,0	0.,1		14.,4
6	-1.,8	12.,5	6.,8	3.,8	0.,2	0.,0	23.,3
7	-1.,7	7.,2	1.,2	0.,1	0.,0	0.,0	8.,6
8	-1.,6	9.,5	3.,5	0.,8	0.,1		13.,9
9	-1.,5	14.,4	4.,4	0.,5	0.,1	0.,0	19.,4
10	-1.,4	26.,3	10.,6	3.,1	0.,3	0.,1	40.,3
11	-1.,3	24.,7	9.,6	3.,2	0.,1	0.,0	37.,6
12	-1.,1	49.,8	10.,6	1.,0	0.,1		61.,5
13	-1.,0	30.,0	5.,2	0.,4	0.,0		35.,7
14	-0.,9	17.,0	3.,6	0.,0			20.,6
15	-0.,8	26.,4	3.,4	0.,3	0.,0		30.,1
16	-0.,7	51.,3	9.,3	2.,2	0.,2	0.,0	62.,9
17	-0.,6	87.,0	18.,2	4.,1	1.,4	0.,1	110.,8
18	-0.,5	153.,0	41.,3	6.,9	0.,7	0.,0	201.,9
19	-0.,4	212.,0	75.,5	20.,5	6.,7	0.,3	315.,1
20	-0.,3	349.,8	218.,4	153.,0	71.,6	2.,6	795.,3
21	-0.,2	567.,7	618.,5	535.,3	391.,1	14.,3	2.,127.,0
22	-0.,1	1.,033.,9	1.,248.,2	870.,3	439.,5	24.,9	3.,616.,7
23	0.,0	724.,4	560.,6	337.,8	104.,1	5.,4	1.,732.,3
24	0.,1	395.,8	198.,6	70.,4	18.,2	0.,6	683.,7
25	0.,2	158.,6	58.,7	14.,5	2.,3	0.,1	234.,1
26	0.,3	65.,3	17.,9	16.,6	0.,1	0.,0	100.,0
27	0.,4	15.,5	6.,7	7.,3	0.,0		29.,4
28	0.,5	5.,5	1.,8	0.,0			7.,3
29	0.,6	2.,2	2.,0	0.,1			4.,2
30	0.,8	0.,4	0.,0				0.,4
32	0.,9	0.,1					0.,1
Total		4.,069.,8	3.,142.,3	2.,053.,9	1.,036.,9	48.,6	10.,351.,5

Figura 5. Superficie (m²) según diferencia de altura de suelo respecto del nivel freático e intensidad de verde para sectores con cobertura de bofedal.



Figura 6. Histograma de frecuencia de superficie (m²) según diferencia de altura del suelo respecto del nivel freático en sectores con cobertura de bofedal.

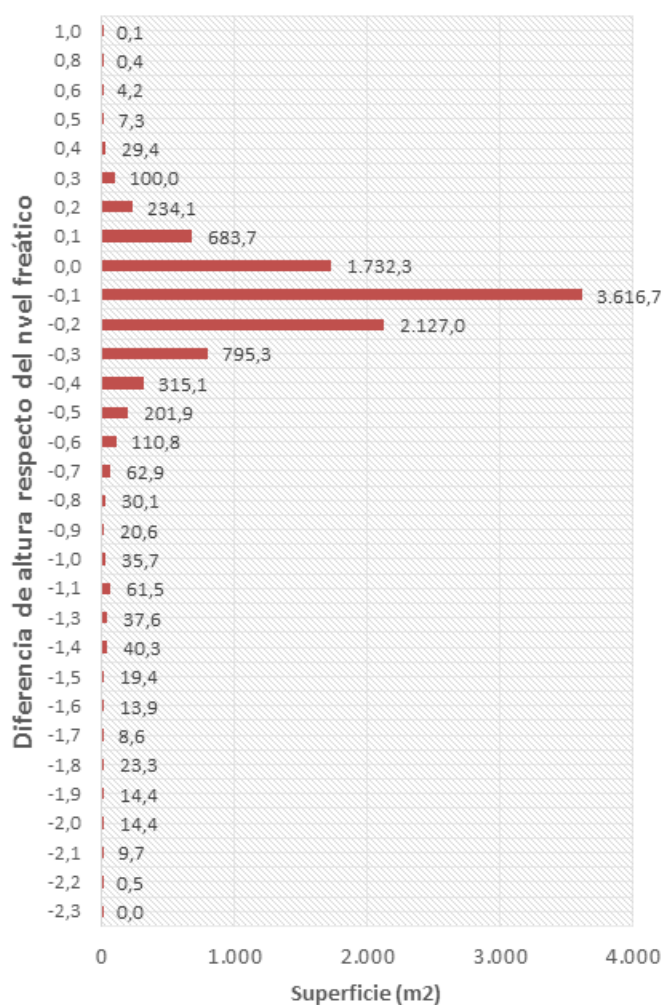


Figura 7. Ortofoto y curvas de nivel, área de estudio quebrada de Chiclla (sección 1).

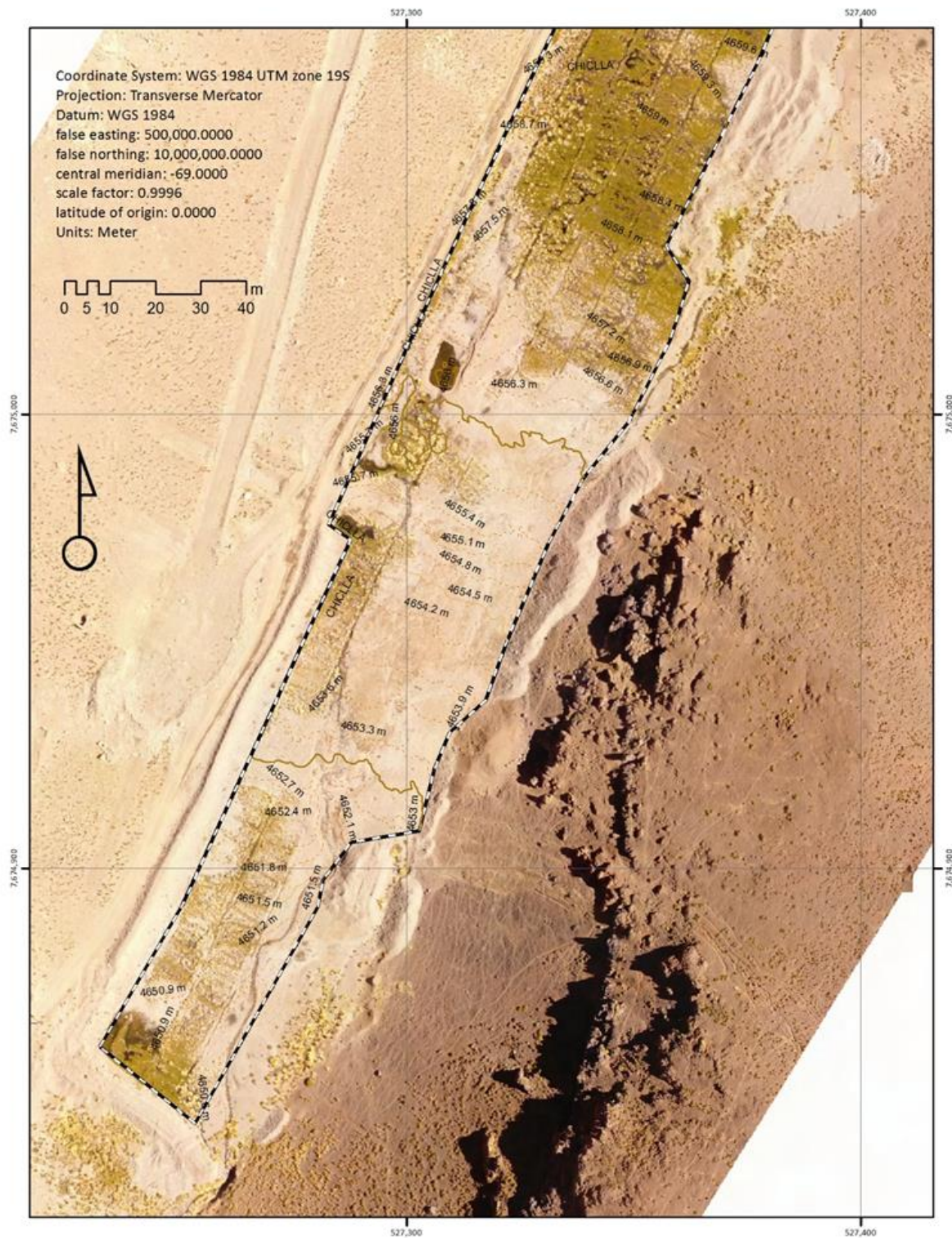


Figura 10. Índice normalizado de diferencias de verde y curvas de nivel, área de estudio quebrada de Chiclla (sección 1).

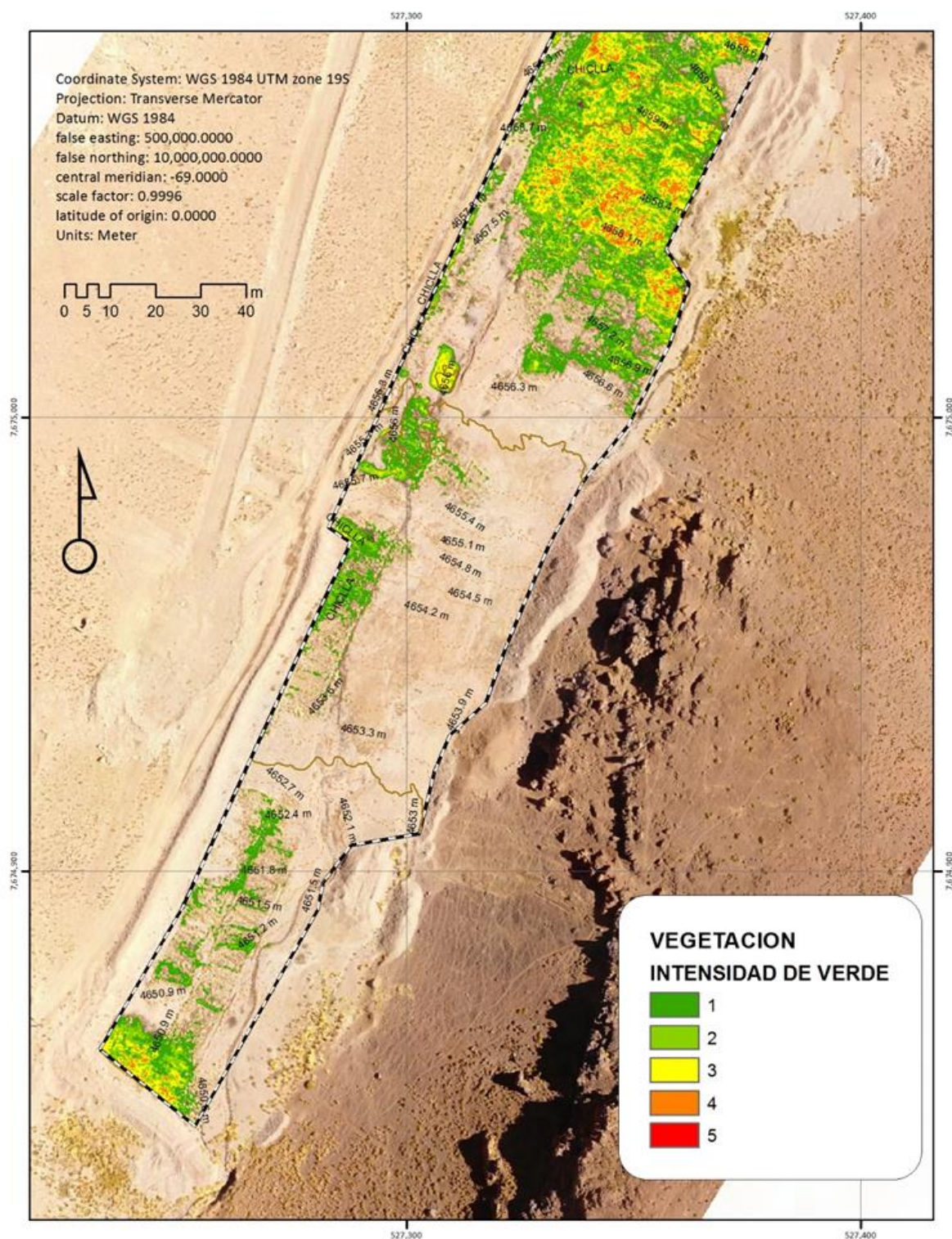


Figura 11. Índice normalizado de diferencias de verde y curvas de nivel, área de estudio quebrada de Chiclla (sección 2).

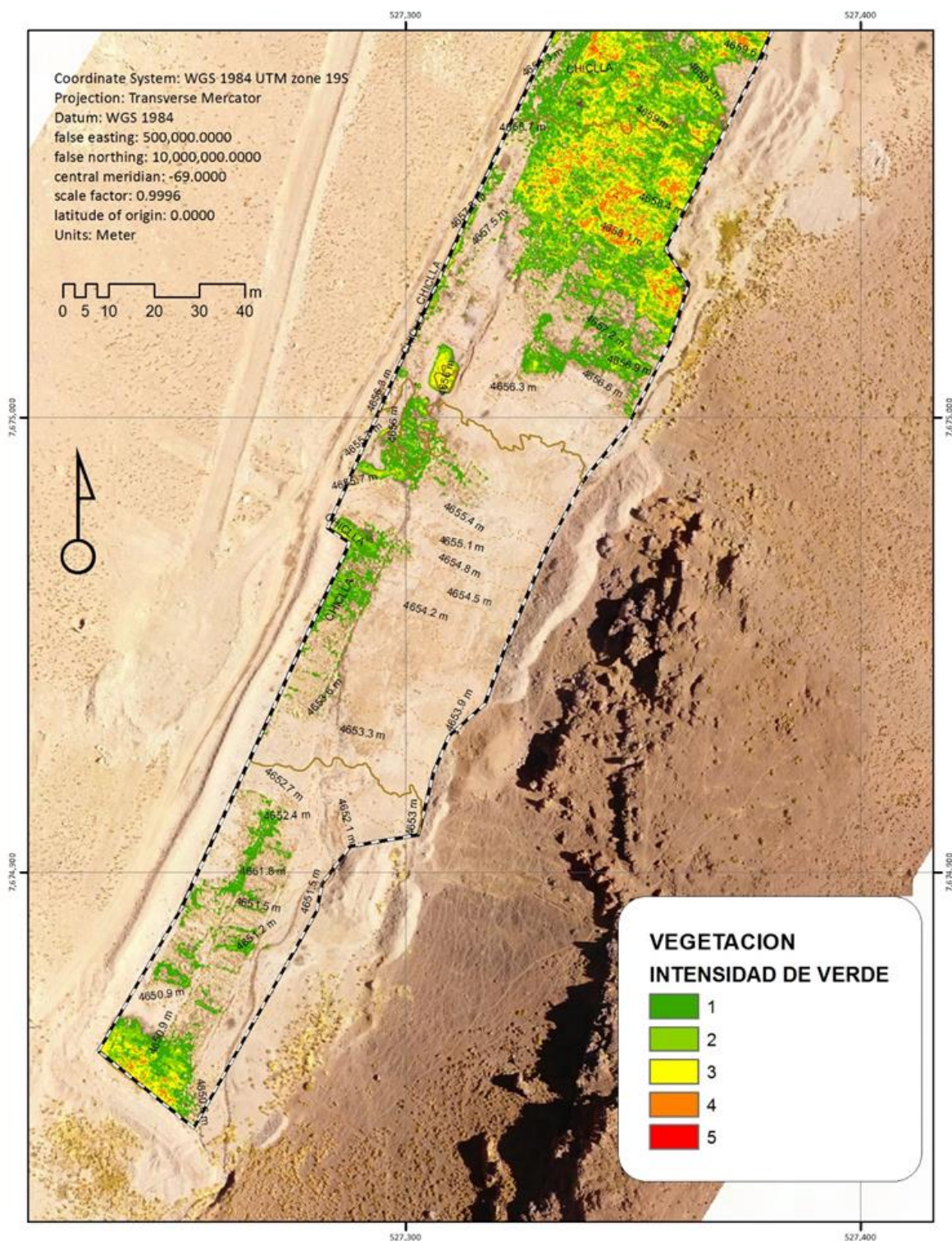


Figura 12. Índice normalizado de diferencias de verde y curvas de nivel, área de estudio quebrada de Chiclla (sección 3).

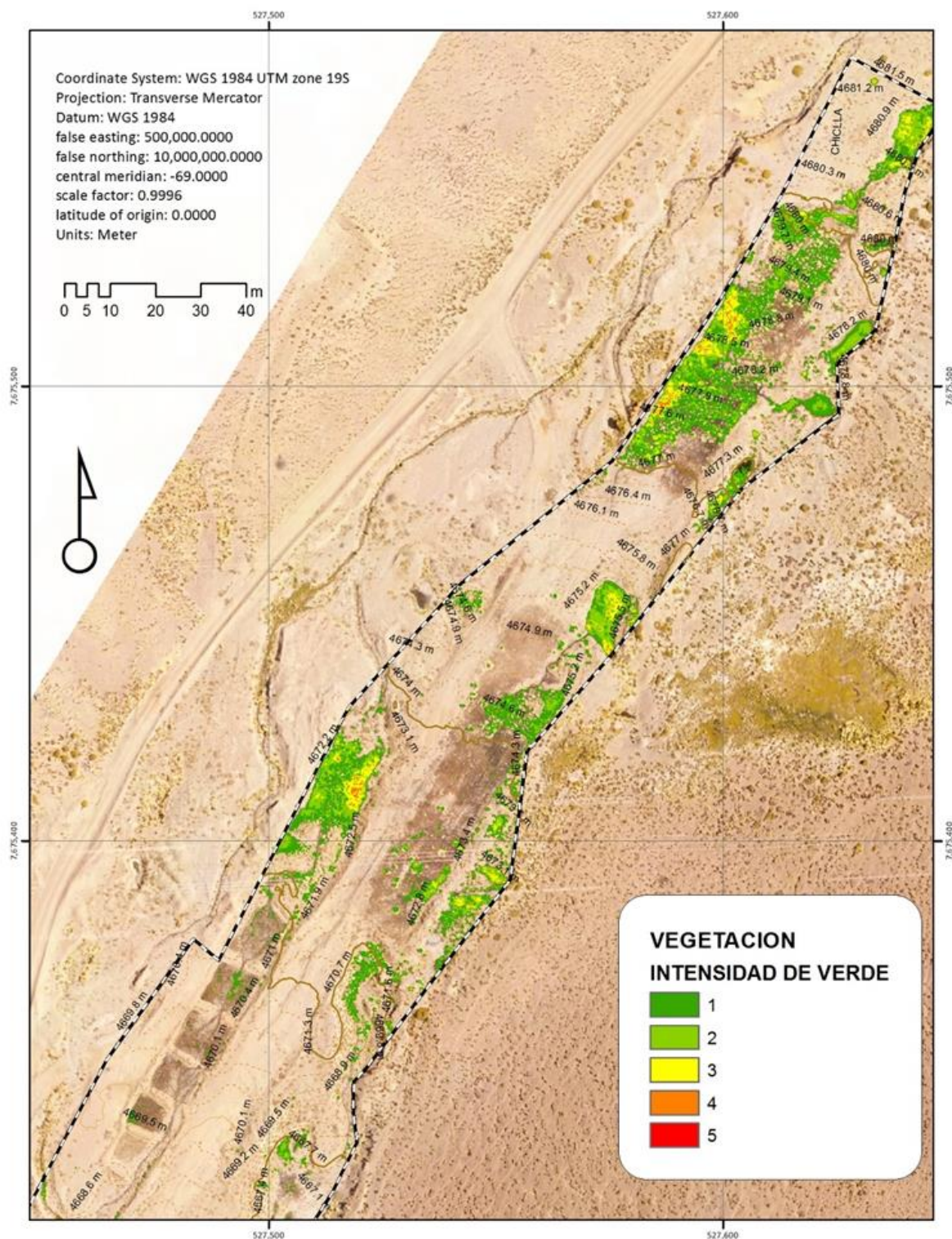


Figura 13. Diferencias de altura de suelo respecto del nivel freático y curvas de nivel, área de estudio quebrada de Chiclla (sección 1).

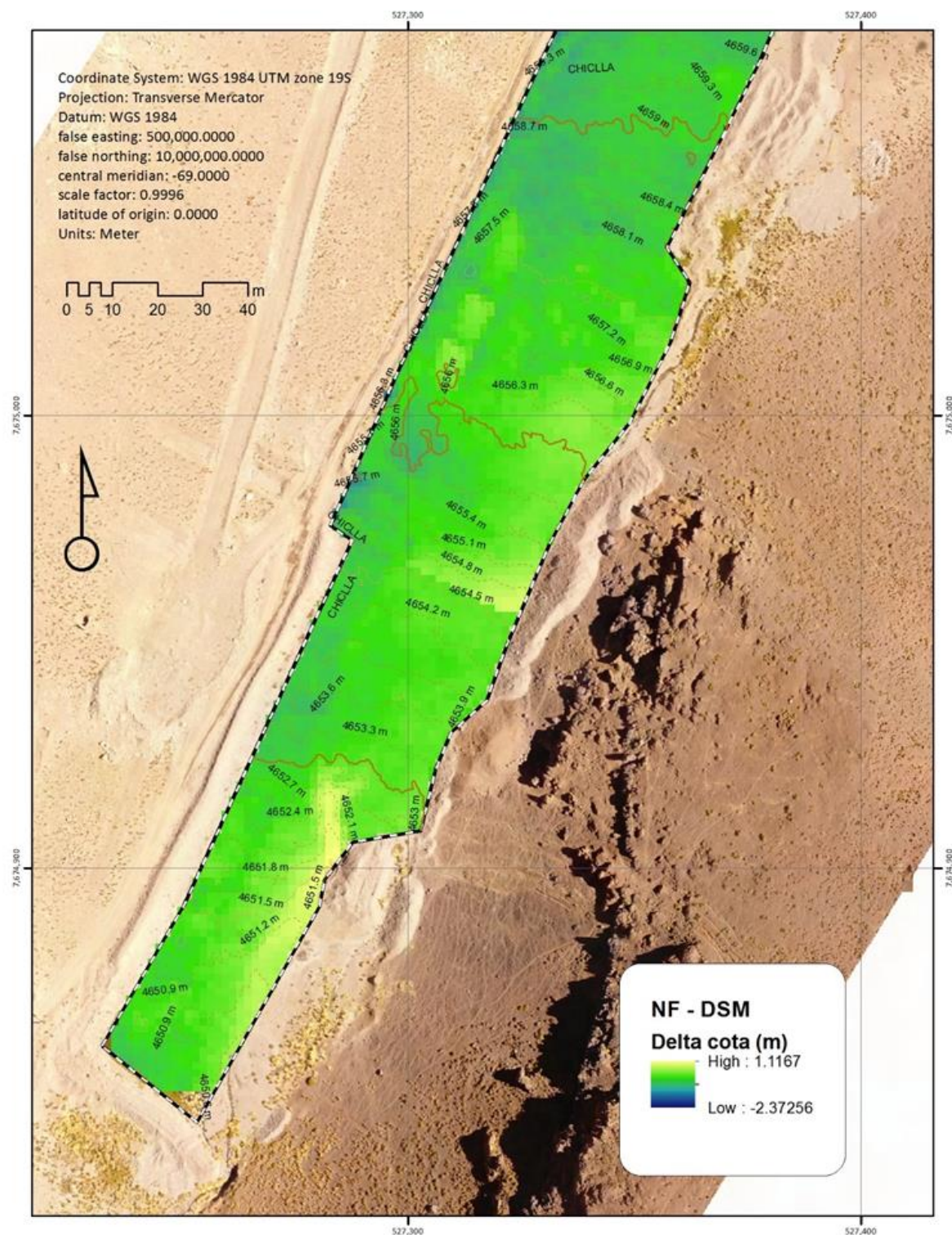


Figura 14. Diferencias de altura de suelo respecto del nivel freático y curvas de nivel, área de estudio quebrada de Chiclla (sección 2).

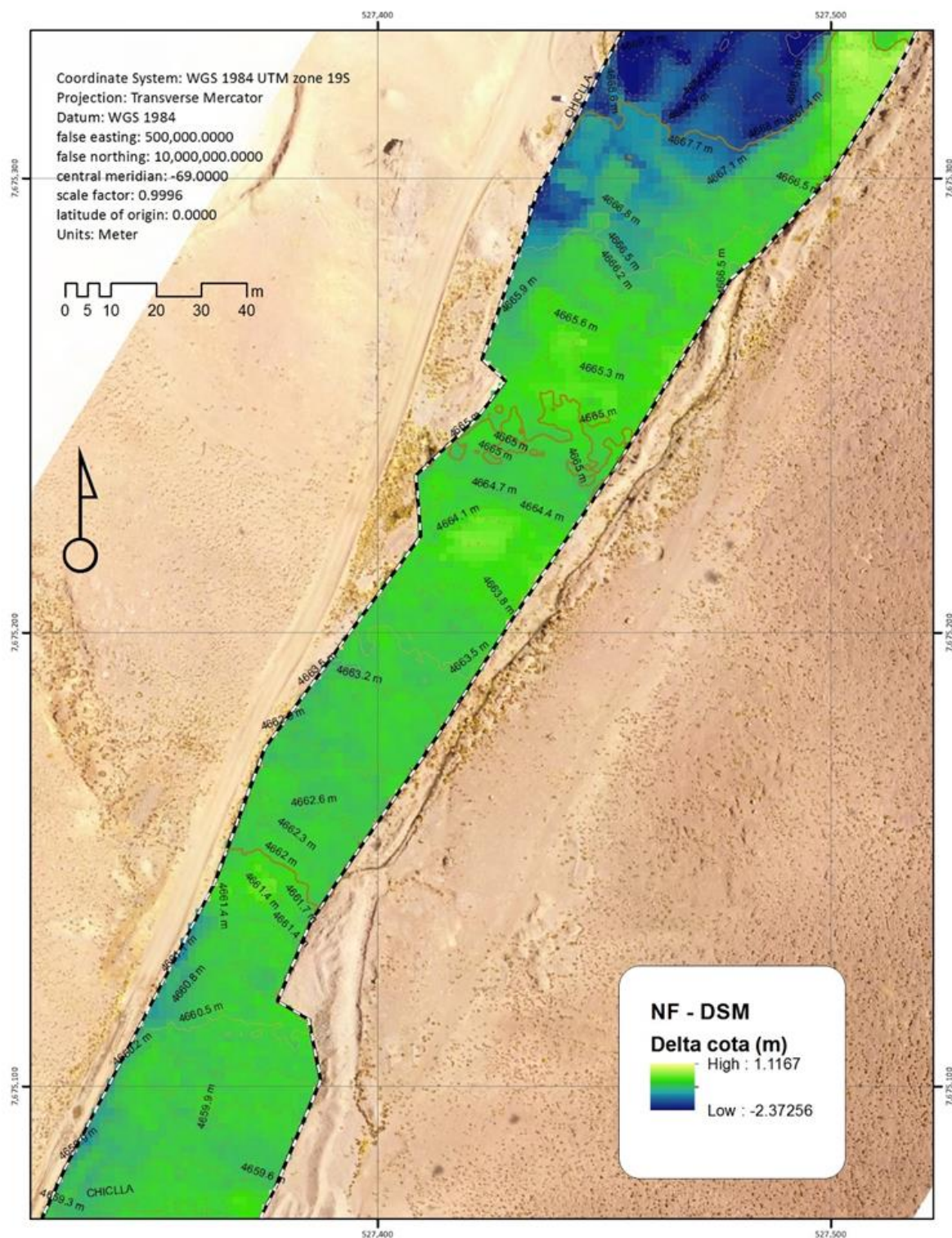


Figura 15. Diferencias de altura de suelo respecto del nivel freático y curvas de nivel, área de estudio quebrada de Chiclla (sección 3).

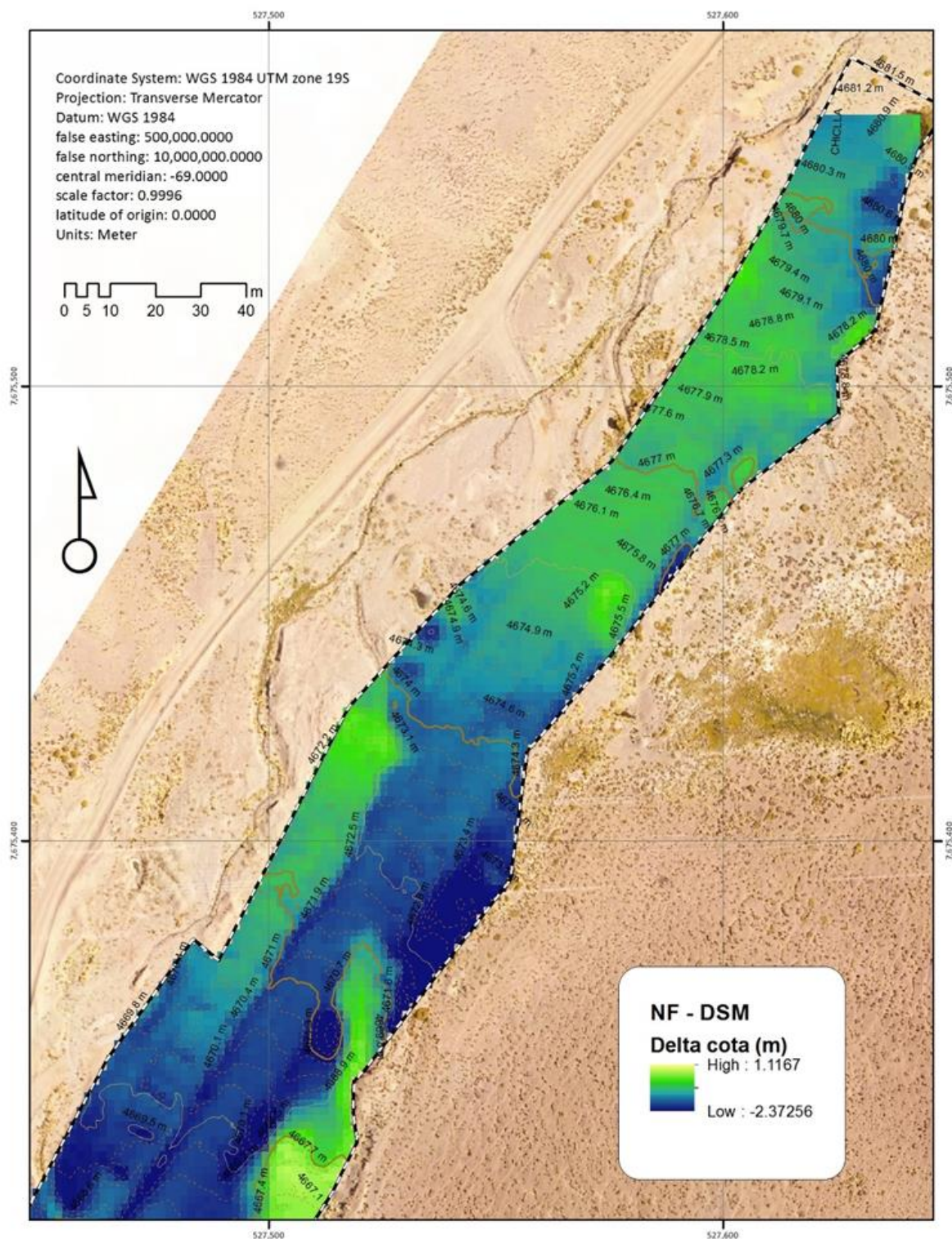


Figura 16. Plano de diferencia de altura de suelo respecto del nivel freático (sección 1).

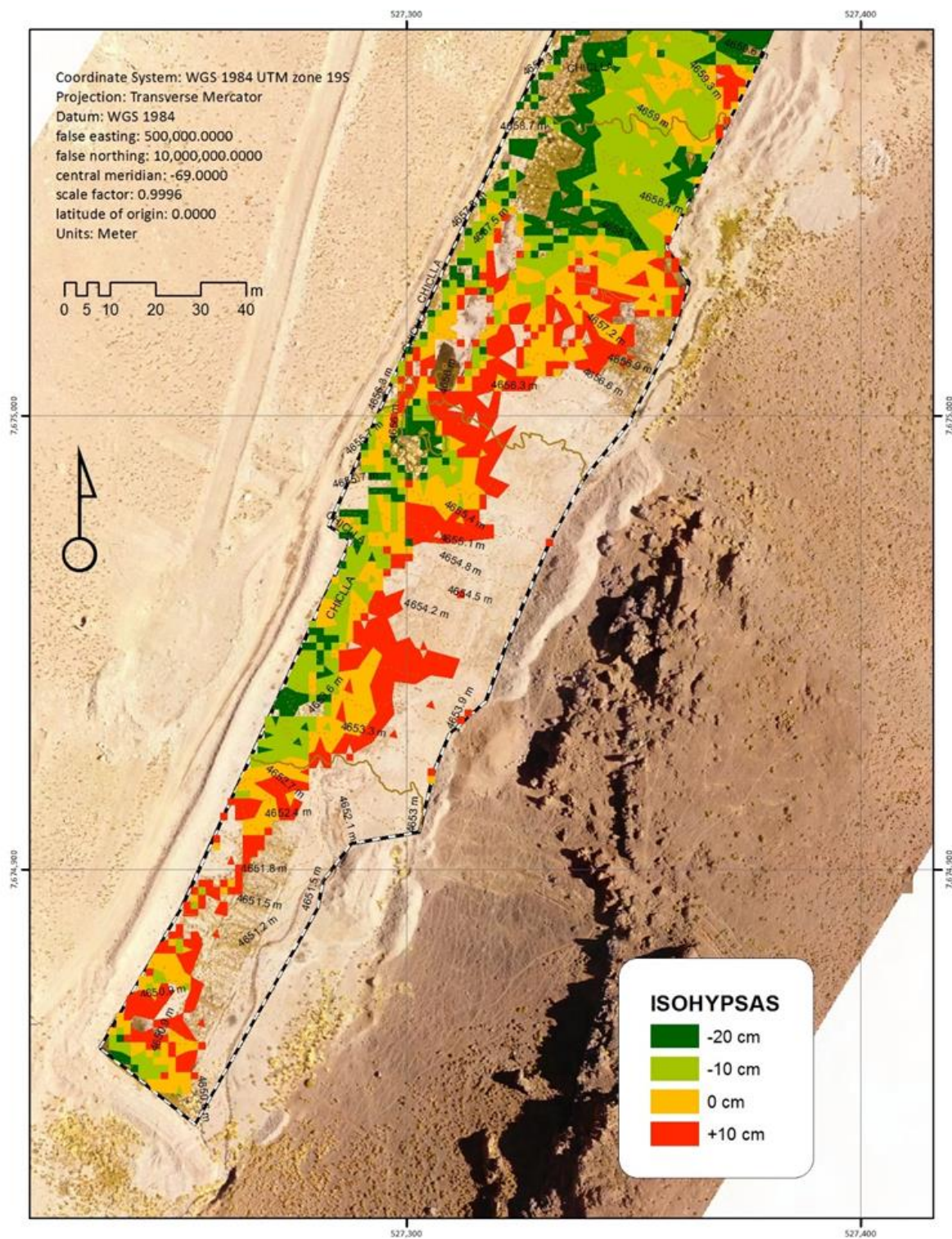


Figura 17. Plano de diferencia de altura de suelo respecto del nivel freático (sección 2).

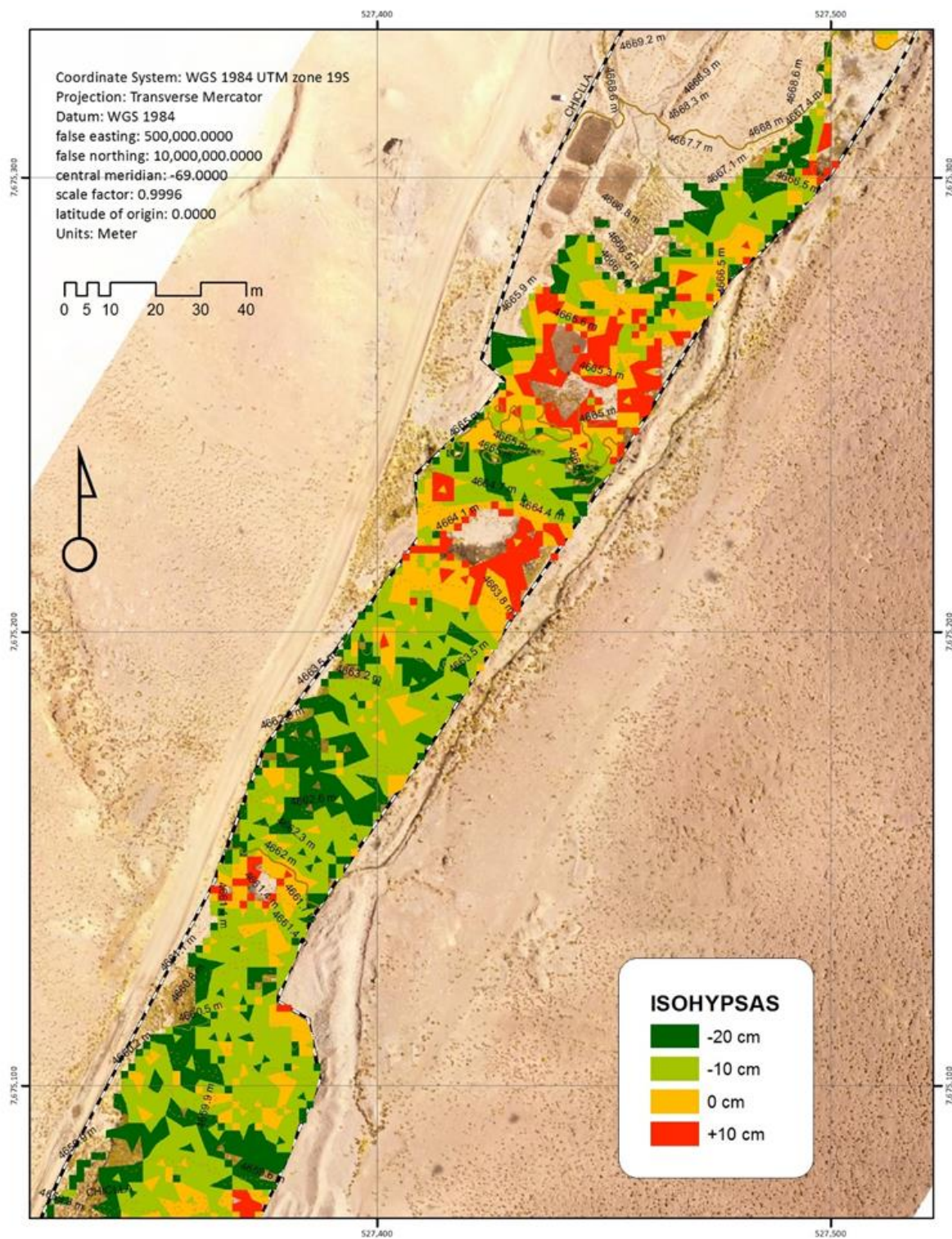
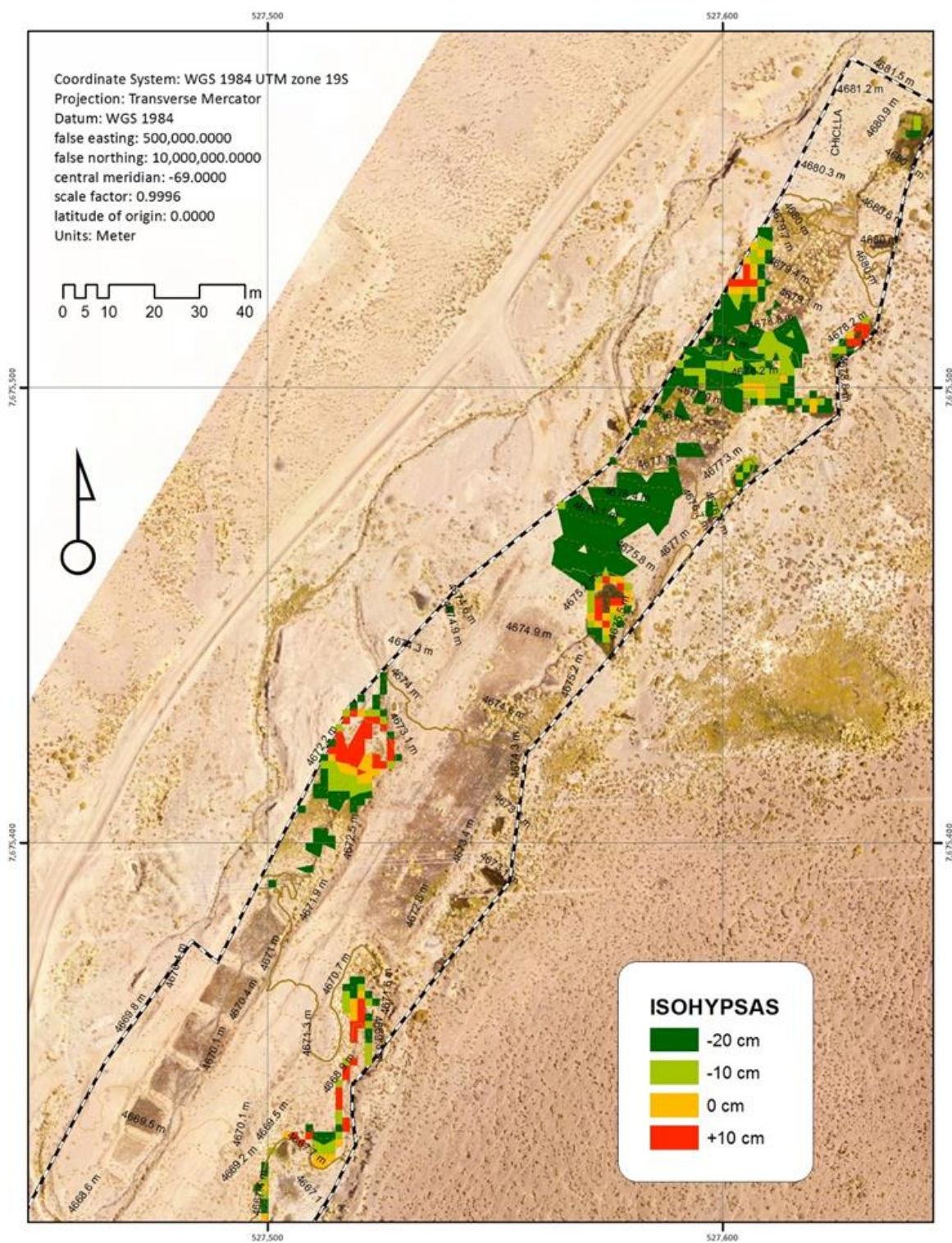


Figura 18. Plano de diferencia de altura de suelo respecto del nivel freático (sección 3).



2.5 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados, la mayor superficie de bofedal se asocia a diferencias de suelo respecto del nivel freático de -20 a -10 cm. Esto significa que el nivel de agua está bajo la superficie en 10 a 20 cm, lo cual es indicador de que las especies asociadas al bofedal pueden sostenerse en estas condiciones de régimen hídrico del suelo.

En consecuencia, es respuesta a esta condición, y a partir del análisis cartográfico se identificaron las áreas más aptas para realizar trabajos de expansión de la superficie de bofedal, lo que se presenta en las Figuras 19, 20 y 21, sobre sectores sin cobertura o con suelo desnudo. Es superficie suma 7.041,6 m², en donde se recomienda realizar la siguiente secuencia de actividades:

- i. Prospección de presencia y profundidad de nivel freático, para identificación de coherencia del análisis cartográfico.
- ii. Nivelación del suelo, idealmente eliminando el excedente de suelo para nivelar a una diferencia de 10 cm desde la superficie al nivel freático.
- iii. Establecer una secuencia de riego por inundación, de acuerdo con la disponibilidad de agua.
- iv. Una vez asegurado el riego en el sector, realizar el trasplante de bofedal utilizando bloques de 25x 25 cm.

2.6 Conclusiones

Los suelos se ubican predominantemente en posición de fondo de quebrada con procesos aluvionales activos, con abundante pedregosidad y texturas areno francosas a franco arenosas. Presentan elevada saturación básica, baja CIC menor a 7 cmol/kg, pH neutro a ligeramente alcalino, bajo PSI y son suelos no salinos.

A partir de la caracterización físicoquímica de los suelos, se establece que los sectores con presencia de bofedales en condiciones naturales son similares a los sectores de bofedales artificiales.

A partir de análisis cartográfico sobre ortofoto y modelo digital de elevación se establece una superficie cubierta por vegetación de bofedal de 10.351 m². Esto corresponde a bofedales artificiales establecidos con éxito en 2002 y que han perdurado a la fecha, con referencia al eje de la quebrada de Chiclla y el área de inundación aluvional.

Del total de superficie de bofedal se determinó que el 78,8% (8.160 m²) se encuentran en sectores con nivel freático entre -30 cm y +10 cm.

De acuerdo con los resultados se establece que existe una superficie de suelo desnudo de 7.041 m² con nivel freático entre -20 y +10 cm que presenta potencial para expandir la superficie de bofedal mediante prácticas de adecuación de suelos, riego y trasplante, requiriendo previamente una prospección de presencia y profundidad de nivel freático, para evaluación de coherencia del análisis cartográfico presentado en esta caracterización. Se recomienda usar como base cartográfica la ortofoto generada por el presente estudio, utilizando los elementos del terreno para referencia específica y detallada.

Figura 19. Sectores de suelo desnudo más aptos para expansión de la superficie de bofedal mediante riego y trasplante (sección 1).

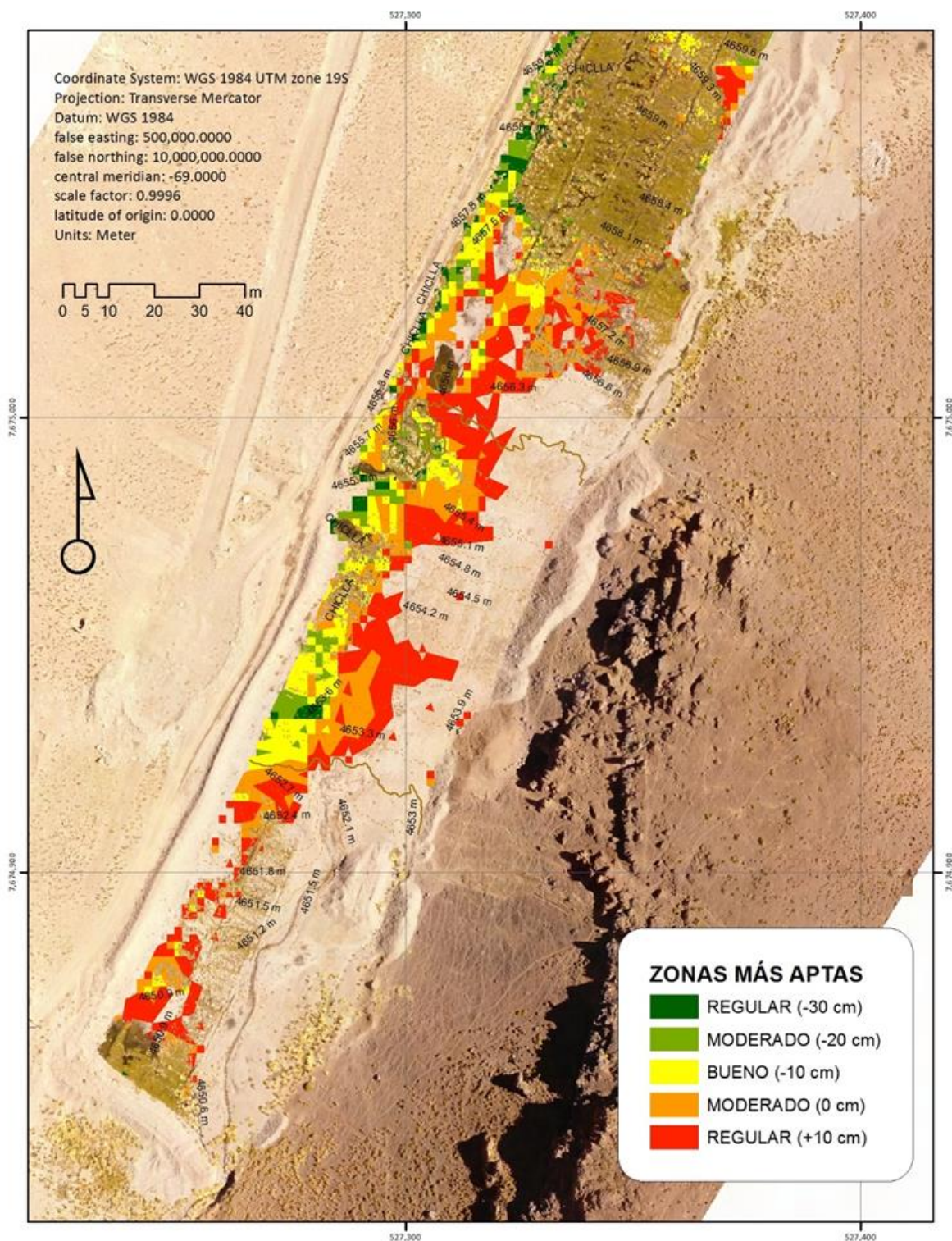


Figura 20. Sectores de suelo desnudo más aptos para expansión de la superficie de bofedal mediante riego y trasplante (sección 2).

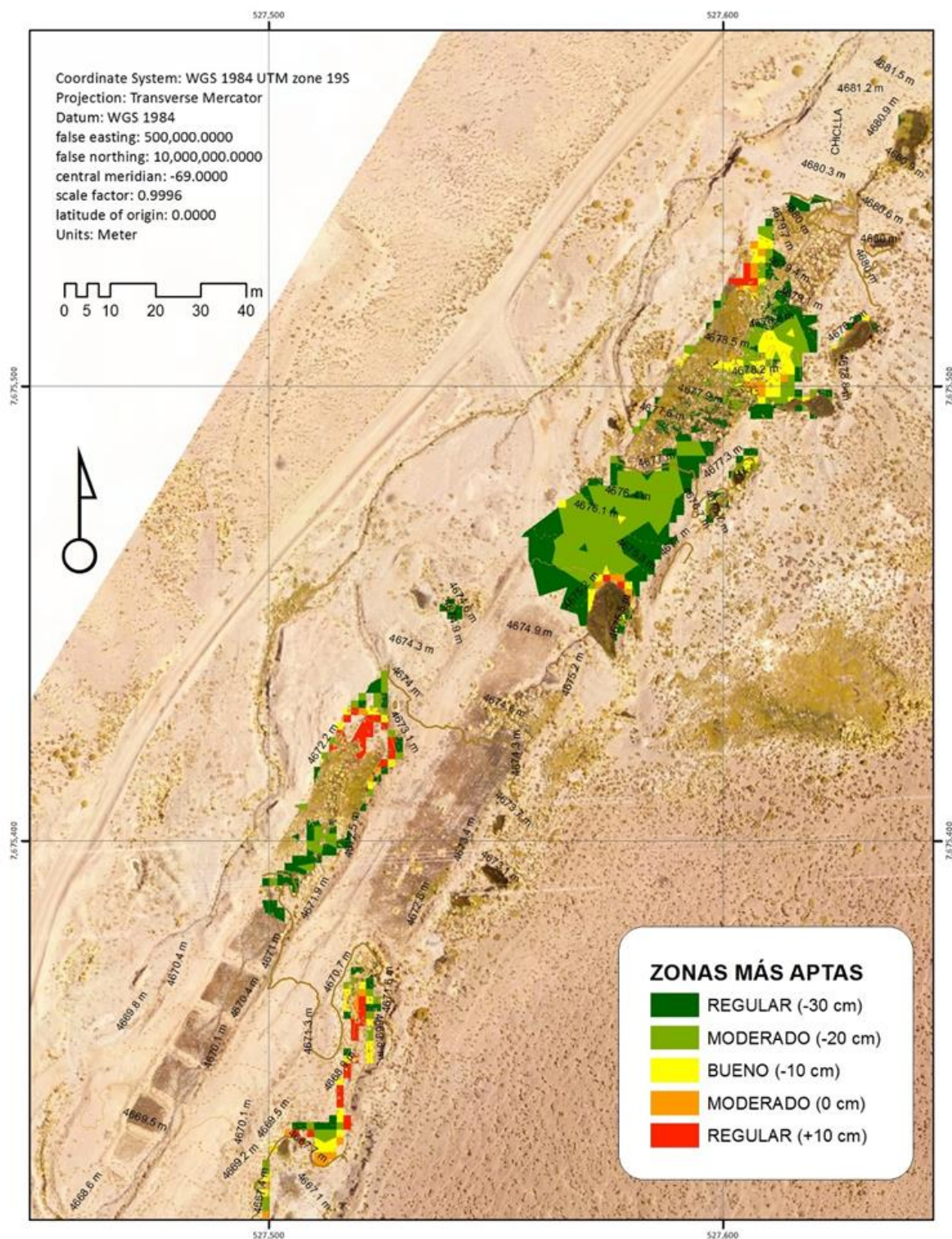
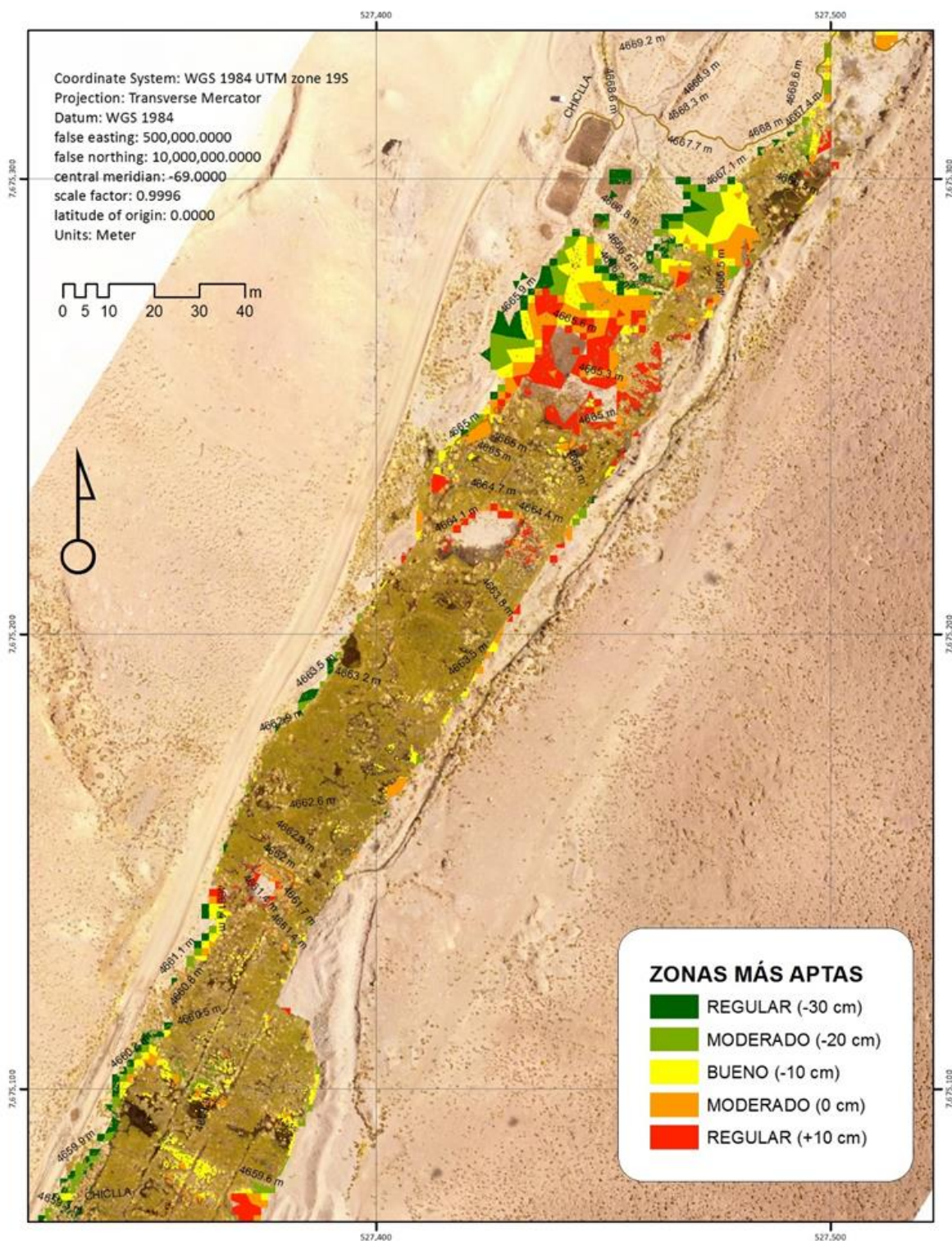


Figura 21. Sectores de suelo desnudo más aptos para expansión de la superficie de bofedal mediante riego y trasplante (sección 3).



3 IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE MONITOREO IN SITU

Para poder monitorear las distintas variables y tener registros que permitan mejorar la cobertura vegetal, se instalaron distintos sistemas específicos de monitoreo. Toda la información técnica de los equipos instalados se encuentran anexo 1.

La implementación del sistema de monitoreo insitu considera:

- Calidad de agua
- Altura de nivel freático
- Humedad de suelos y potencial mátrico
- Variables climáticas

3.1 Calidad de agua

La calidad de agua es un parámetro importante a monitorear, debido a que las alteraciones de esta afectan de forma directa a la vegetación. Se instala un sistema de medición de conductividad eléctrica (CE) y pH (sonda multiparamétrica marca EXO 1) asociadas a un data-logger con mediciones horarias, el cual queda protegido dentro de estructura de HDPE con tapa, dentro uno de los afloramientos propios del sector. En fotografías 7 y 8 se muestra el equipo.

Fotografías 7 y 8. Sonda calidad de agua y sonda instalada.



Los datos registrados se recolectarán mediante PC portátil u otro equipo apropiado, conjuntamente con la verificación del estado de la instalación.

3.2 Altura nivel freático

Actualmente no se tiene conocimiento específico de la existencia de niveles freáticos dentro de la quebrada, sin embargo, conocer si estos niveles están presentes y a que profundidades, podrían explicar la presencia de la vegetación en épocas donde no existen o son muy escasas las precipitaciones. La vegetación presente es muy dependiente de la presencia permanente de agua, lo que hace necesario confirmar este factor.

Se instalan 3 tubos de metal de 2" de diámetro a 1,5 m de profundidad. La tubería instalada presenta cribas para ingreso de agua y alrededor de esta se colocó gravilla para evitar el taponamiento. En la parte superior, se instalaron tapas metálicas la que posee una cuerda metálica revestida, de donde se colgaron los sensores (3001 LT Levellogger Junior Edge M5 y 3001 LT Barologger Edge M1.5) hasta la altura de la lámina de agua.

En fotografías 9 a 12 se presenta lo descrito. La profundidad final del tubo quedó sujeta a las condiciones de nivel freático y presencia de roca principalmente.

Fotografías 9 a 12. Tubo piezométrico, tapa y cordón de sujeción, sensores de nivel, tubo instalado.



3.3 Humedad de suelos y potencial mátrico

La dinámica de suelos es relevante en los patrones de distribución de vegetación, que actúa en conjunto con la profundidad del nivel freático y escurrimiento superficial de agua.

En consecuencia, la determinación de los contenidos de humedad en el suelo, complementado con medidas de conductividad eléctrica y temperatura, permite obtener un indicador sensible y cercano a lo que ocurre en la zona radicular y el comportamiento de la vegetación azonal.

La medida de humedad y potencial mátrico de suelos, es un indicador razonablemente eficaz para detectar cambios que indiquen un proceso de desecación.

Se instalan sondas de capacitancia para medición de humedad (Sensor de suelo GS3) y sondas de medida del potencial mátrico (Sensor de potencial MPS-6) en el suelo con data logger para almacenamiento de lecturas horarias asociadas a transectos de control. Para aquello se confecciona una calicata de 30 x 30 x 30 (zona radicular) se inserta a sonda. Luego se conduce el cable de conexión hasta el data logger mediante una pequeña zanja de máximo 30 cm de profundidad (fotografías 13 a 20).

Fotografías 13 a 20. Sensores para determinación de humedad y potencial mátrico.



3.4 Variables climáticas

No existe una estación meteorológica al interior de la quebrada capaz de registrar temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento, radiación y evapotranspiración.

Por lo tanto, se instala una estación meteorológica en el lugar para la obtención de data microclimática del área de la quebrada. Con esta información se generará información suficiente para describir con exactitud el comportamiento del clima de la quebrada.

La estación meteorológica instalada corresponde al modelo Vantage Pro 2.0 marca Davis, la que fue instalada a un costado del bofedal, cercano a fuentes de agua y libre de intervenciones (fotografías 14 a 17).

La estación está cercada para su protección con un cerco metálico, con llave y cuenta con un sistema de pararrayos para su protección.

Fotografías 14 a 17. Instalación estación meteorológica.



3.5 Ubicación espacial equipos

Los equipos se disponen en terreno de acuerdo a la condición de este, quedando ubicados como se muestran en tabla 5.

Tabla 5. Coordenadas de vertientes y captación.

Descripción	Coordenadas UTM Datum WGS 84		Elevación m.s.n.m.
	SUR	Este	
SH1T1	7.675.536	527.630	4.473
SH2T1	7.675.539	527.627	4.506
SH3T1	7.675.537	527.621	4.507
SPMT1	7.675.539	527.627	4.506
P1	7.675.539	527.627	4.506
SH1T2	7.675.195	527.422	4.492
SH2T2	7.675.194	527.417	4.492
SH3T2	7.675.194	527.413	4.493
SPMT2	7.675.194	527.417	4.492
P2	7.675.194	527.413	4.492
SH1T3	7.675.014	527.355	4.440
SH2T3	7.675.017	527.352	4.443
SH3T3	7.675.019	527.348	4.447
SPMT3	7.675.017	527.352	4.443
P3	7.675.536	527.619	4.498

EM	7.675.439	527.583	4.502
CA	7.675.449	527.582	4.501

(SH: Sonda humedad; T: Transectos; SPM: Sonda potencial mátrico; P: Piezómetro; EM: Estación meteorológica; CA: Sonda calidad de agua).

4 TRABAJOS DE MEJORA DE TOPOGRAFÍA DEL ÁREA

Los trabajos de mejora de la topografía, consideran un levantamiento detallado de la topografía mediante vuelo fotogramétrico de la quebrada (ejecutado por CMDIC), de modo de cuantificar posibles movimientos de tierra que mejoren la conducción de agua en superficie y para el diseño de detalle del sistema de distribución de agua.

De forma de proteger las obras ejecutadas para la conservación del bofedal de Chiclla, se construyeron pretilles en distintos puntos de la quebrada, de esta forma se busca evitar que las posibles crecidas del cauce de la quebrada producto de las lluvias, se lleven el material orgánico y los manejos vegetales realizadas. Estos pretilles actúan como piscinas y pueden bajar la velocidad del agua en condiciones normales (fotografías 18 a 26).

También se desarrollaron trabajos en movimiento de tierra para mejorar en parte el relieve de lugares intervenidos y de esta forma poder desarrollar nuevas parcelas para la propagación de especies.

Fotografías 18 a 26. Movimientos de tierra.



5 DISEÑO Y VERIFICACIÓN HIDRÁULICA

La etapa de diseño y construcción del sistema de redistribución de agua, tiene como propósito contribuir en el aumento de la productividad del bofedal, mejorando las condiciones de desarrollo de las especies vegetales dominantes y que dan vida al bofedal a través de una mejor distribución del agua. El sistema apoyará las actuales labores de propagación y aumento de cobertura vegetal así como también dirigirá el recurso hídrico de manera eficiente.

Para el desarrollo de este proyecto se contó con un levantamiento topográfico aportado por CMDIC, con el cual se diseñó el sistema de distribución del agua, el que permite la redistribución de aguas de la misma quebrada a través de 6 puntos en forma de imitación de vertientes naturales.

El proyecto está construido en tuberías de HDPE enterradas y distribuidas de forma subterránea a lo largo del área.

Por último, se desarrollaron movimientos de tierra mecanizados para la construcción de pretilos y nivelación de terreno, los que permiten retener el agua de las lluvias estivales y estacionarias y mejorar la superficie que se encontraba desnivelada.

5.1 Diseño

Preliminarmente se consideró para el diseño un sistema de riego que permitirá conducir el agua existente, emulando la forma natural para su redistribución en terreno, mediante tuberías de HDPE, en 6 puntos (vertientes). Para el desarrollo de la ingeniería hidráulica se consideró en el punto de inicio del sistema una presión nominal de 2.5 BAR y disponibilidad de caudal de 2 l/s.

Finalmente, el proyecto no contó con fuente externa de agua (presión y caudal), por lo que el sistema proyectado se verifica nuevamente, considerando captar agua desde los afloramientos naturales existentes en la misma quebrada y conducir el agua mediante tuberías de HDPE para distribuir en forma uniforme el agua captada a las 6 vertientes originales.

5.2 Verificación hidráulica de sistema de riego

En base a la topografía validada, se identificó el trazado de las tuberías y puntos de entrega a las diferentes vertientes, determinando la energía disponible en los distintos tramos de la conducción. Se modeló las tuberías instaladas en una longitud de 700 m de HDPE de DN= 50 mm y 305 m de tubería de HDPE de DN= 40 mm ambas en clase PN-10, PE-100 (Norma ISO 4427).

La verificación hidráulica se realizó en planilla de elaboración propia en base a fórmula de Hazen & Williams con coeficiente **"C"= 140** como factor de seguridad en el diseño que contempla la pérdidas singulares de la conducción. La condición de borde de la capacidad máxima de porteo queda determinada por la energía a la cabeza de la conducción y la pendiente hasta el primer tramo en la entrega en válvula a la Vertiente N°1.

La fórmula de Hazen & Williams usada para el cálculo de las conducciones en presión en régimen turbulento es la siguiente:

$$J = 10.665 \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} * D^{4.869}}$$

Dónde:

J = pérdida de carga (m)

Q= caudal (m³/seg.)

D= diámetro interior de la tubería (m)

C= coeficiente empírico de rugosidad (150 para tuberías de HDPE liso)

Como se observa en planillas adjuntas (figura 26), el caudal queda determinado por la energía a la cabeza de 0,10 m y la cota de entrega a Vertiente N°1, y es de 2 l/s, el resto queda con disponibilidad de energía, que de no regular el caudal aguas abajo, la conducción trabajaría como acueducto entregando el caudal en las primeras válvulas.

Por este motivo, es condición de operación del sistema regular las válvulas a los valores calculados para cada punto de entrega a vertientes. El modelo hidráulico considera entregar en forma uniforme el caudal en valores de 1/6 para cada vertiente.

No se considera pérdidas de carga especiales en las válvulas ya que estas singularidades afectarían las presiones agua debajo de éstas y el modelo se calibra aguas arriba con el objeto de obtener una entrega uniforme.

En la figura 22, se entregan los resultados de la evaluación y un gráfico con las líneas de energía de la conducción.

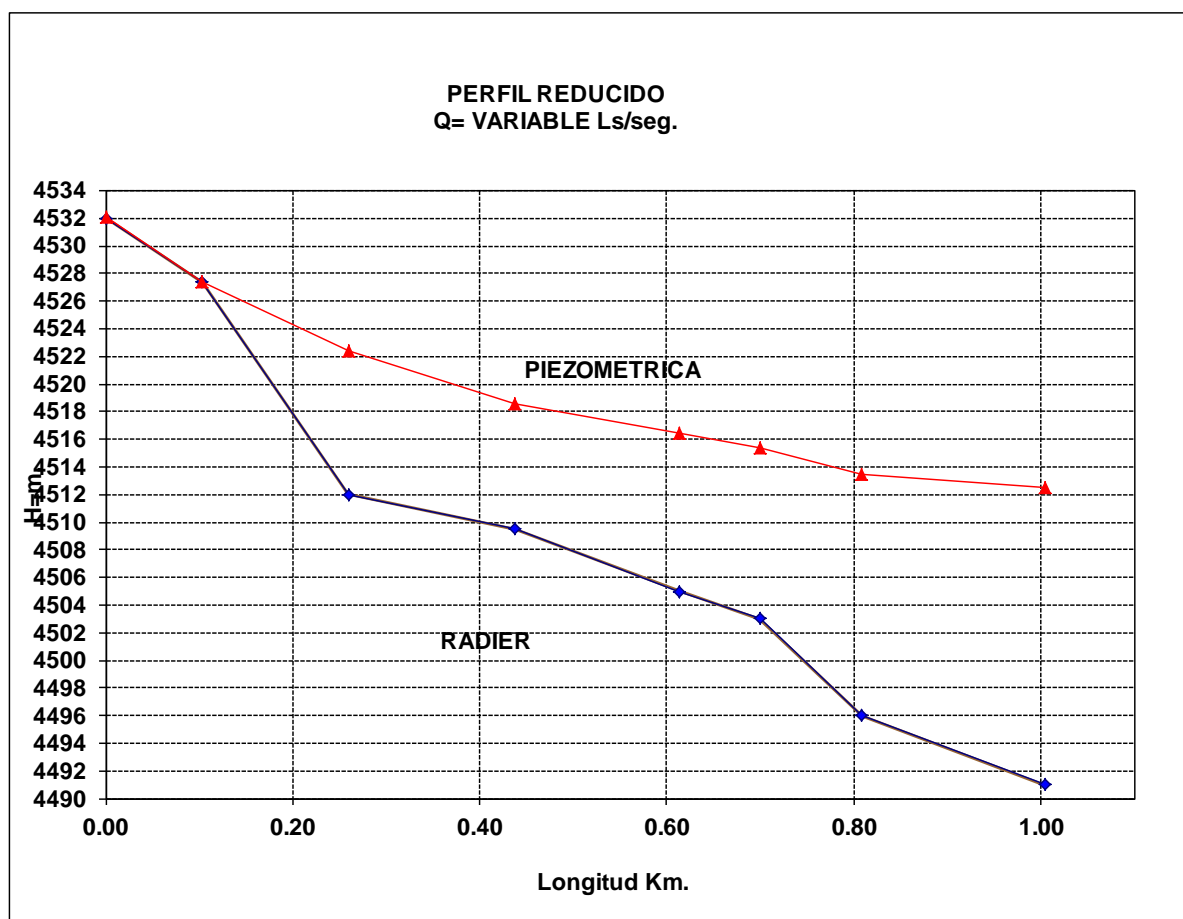
Figura 22. Planilla y gráficos de la validación hidráulica.

VERIFICACIÓN HIDRAULICA	
BOCATOMA	0.1
CAUDAL L/S	2.00

PÉRDIDA FILTRO MALLA	0.00 mca
PÉRDIDA VÁLVULAS	0.00 mca
PÉRDIDA SINGULARES	0.00 mca

BLOQUE DE RIEGO I

km	LONG. Km	ø Nom.	ø int.	Mat.	DERIV.	C	Q (m³/sg)	VELOC.	J UNIT.	COTA	PIEZ.	PRESIONES		
												m.c.a.	p.s.i.	D.I.
0.0000					BOCATOMA	140	0.00200			4532.00	4532.1	0.10	0.14	
0.1033	0.1033	50	0.044	HDPE PN 10	V1	140	0.00200	1.305	45.10	4527.40	4527.4	0.04	0.06	2.94
0.2593	0.1561	50	0.044	HDPE PN 10	V2	140	0.00167	1.088	32.19	4512.00	4522.4	10.42	14.88	2.94
0.4379	0.1786	50	0.044	HDPE PN 10	V3	140	0.00133	0.870	21.31	4509.50	4518.6	9.11	13.02	2.94
0.6138	0.1759	50	0.044	HDPE PN 10	V4	140	0.00100	0.653	12.52	4505.00	4516.4	11.41	16.30	2.94
0.7000	0.0862	50	0.044	HDPE PN 11	PC DIÁMETRO	140	0.00100	0.653	12.52	4503.00	4515.3	12.33	17.62	2.94
0.8089	0.1089	40	0.035	HDPE PN 10	V5	140	0.00067	0.681	17.54	4496.00	4513.4	17.42	24.89	2.35
1.0047	0.1958	40	0.035	HDPE PN 10	V6	140	0.00034	0.341	4.89	4491.00	4512.5	21.47	30.67	2.35



Como parte del diseño, se realizó un plano de planta donde se encuentran identificado el sistema de redistribución de agua (figura 23), el cual permite una fácil ubicación en terreno, realizar mantenciones y el cual facilita la operación del sistema. Una vez instalado el sistema de acuerdo al replanteo de terreno se tiene como resultado el plano en revisión 1, como plano *as built*.

6 CONSTRUCCION

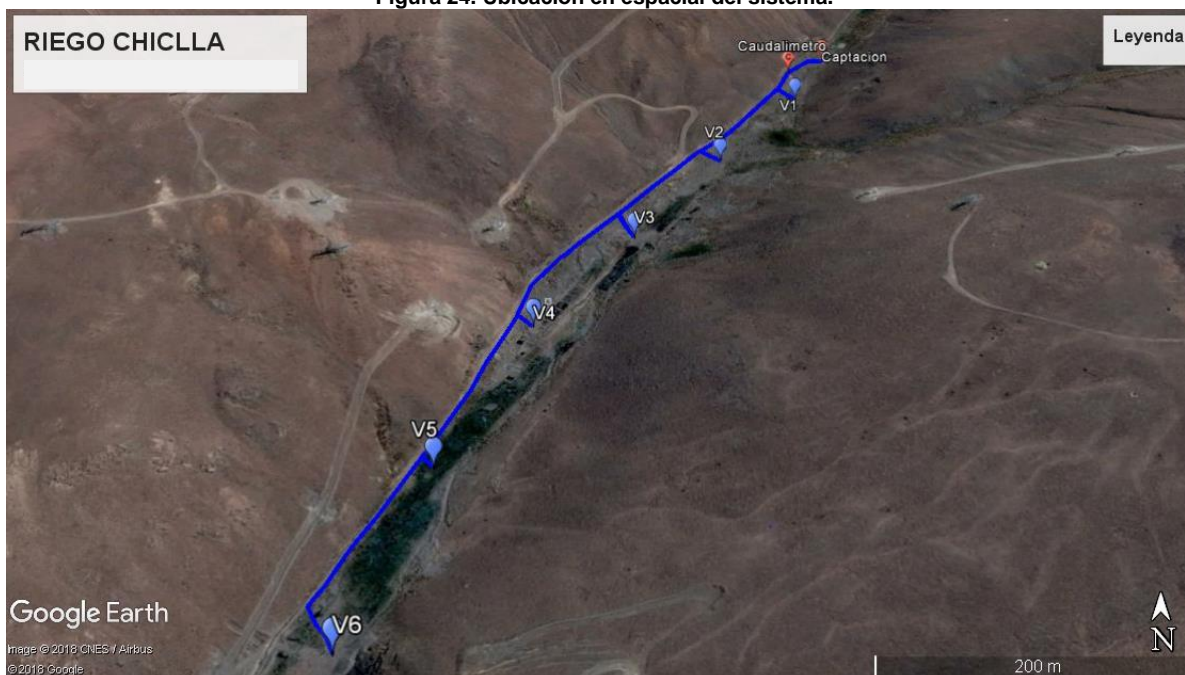
6.1 Replanteo en terreno

La actividad previa a la construcción del sistema de redistribución de agua, fue el replanteamiento de la ubicación de las tuberías y vertientes en terreno, para lo cual se contó con instrumentos GPS, nivel topográfico y planos georeferenciados. Con esta información se obtiene el cuadro de coordenadas de la instalación que se detalla en la tabla 6 y figura 24.

Tabla 6. Coordenadas de vertientes y captación.

Descripción	Coordenadas UTM Datum WGS 84		Elevación m.s.n.m.
	SUR	Este	
Captación	7.675.824	527.819	4.520
Vertiente 1	7.675.730	527.751	4.516
Vertiente 2	7.675.606	527.667	4.509
Vertiente 3	7.675.464	527.562	4.506
Vertiente 4	7.675.324	527.459	4.495
Vertiente 5	7.675.147	527.381	4.488
Vertiente 6	7.674.971	527.317	4.480

Figura 24. Ubicación en espacial del sistema.



6.2 Sistema de redistribución de agua

Se utiliza el agua propia que entrega una pequeña vertiente, en donde se capta esta mediante tubería de 110mm ranurada (fotografía 27). Esta tubería evita el ingreso al sistema de partículas de un tamaño mayor que pudiese obstruir el sistema (gravas, gravillas generadas por arrastres). Una vez captadas las aguas estas son distribuidas en forma ordenada por tuberías de HDPE PN 10 PE 100 en 50 y 40 mm enterradas, todas comandadas por un sistema de válvulas de control manual.

Se instalaron dos tipos de válvulas en serie, la primera una válvula de bola que permite la apertura y cierre del riego y la segunda una válvula de compuerta con vástago, la que permiten regular el caudal de la vertiente (figura 28). El trabajo de ambas válvulas en conjunto permite una fácil operación ya que no se pierde la regulación cada vez que se opera el riego de una vertiente.

Fotografías 27 y 28. Izquierda, Captación y derecha válvulas de control de riego.



El trazado de la tubería matriz se realizó en dirección paralela al camino, de forma de no intervenir el bofedal (fotografía 29). Esta zanja mecanizada fue confeccionada con retroexcavadora, y las zanjas secundarias hacia las vertientes se realizaron de forma manual, evitando dañar la vegetación existente. Una vez construidas las excavaciones se procedió a una limpieza al sello de la zanja, evitando dejar elementos punzantes bajo la tubería, luego se rastrillo para realizar la cama de apoyo con material fino (fotografía 30).

Fotografías 29 y 30. Zanja mecanizada y preparación de cama de apoyo.



Una vez montada la tubería se pre tapó de forma manual con material seleccionado de la misma excavación y luego un tapado fino por capas hasta llegar a nivel natural. Todos estos movimientos de tierra fueron disimulados por lo que no se distinguen a simple vista.

Las uniones de las tuberías de HDPE PN10 fueron realizadas con coplas de compresión (fotografía 31), este sistema permite una fácil manipulación y reparación, se seleccionó este sistema por que no requiere de equipos como pueden ser la electrofusión o termofusión. Para una mejor operación se instalaron válvulas de aire a lo larga de toda la conducción y todas las válvulas están protegidas con cajas plásticas del tipo Jumbo, las que ayudan a mantener y permiten que las válvulas no estén visibles ni expuestas, sumado a su fácil apertura y hermeticidad (fotografía 32).

Fotografías 31 y 32. Unión de compresión y protección tipo jumbo para válvulas



Las vertientes o salidas de agua finalmente quedan instaladas de modo de emular una fuente natural (fotografías 33 a 39).

Fotografías 33 a 39. Unión de compresión y protección tipo jumbo para válvulas.

