



INFORME FINAL
LICITACIÓN ID: 609102-5-L118

**EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE
EULYCHNIA IQUIQUENSIS EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ**

RAQUEL PINTO B
floratacama@gmail.com
+569 8450 3948

JULIO 2019

EQUIPO DE TRABAJO

Raquel Pinto Bahamode

Jefe de Proyecto

Avelino Muñoz Manterola

Investigador Principal

Roberto Orellana Ojeda

Investigador Principal

El presente informe debe ser citado de la siguiente forma:

Pinto, R, A. Muñoz, A y R. Orellana. 2019. Evaluación y Caracterización de la Población de *Eulychnia iquiquensis* en la Región de Tarapacá. Informe Final. Secretaria Regional Ministerial de Medio Ambiente, Región de Tarapacá. 1 - 155 pp.

INDICE

1. RESUMEN.....	3
2. ANTECEDENTES	4
3. IDENTIFICACIÓN DE LAS POBLACIONES DE <i>Eulychnia iquiquensis</i> Y SU CARACTERIZACIÓN.	9
3.1. METODOLOGÍA.....	10
3.2. RESULTADOS	18
FLORA ASOCIADA	23
4. SEGUIMIENTO COMPARATIVO DEL CRECIMIENTO DE <i>Eulychnia iquiquensis</i>...25	
4.1. METODOLOGÍA.....	25
4.2. RESULTADOS	27
5. IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS Y PROPUESTA PARA SU CONTROL	32
6. INTRODUCCIÓN DE 30 EJEMPLARES DE <i>Eulychnia iquiquensis</i> EN EL ECOSISTEMA DE NIEBLA DE PUNTA GRUESA.....	34
6.1. METODOLOGÍA.....	34
6.2. RESULTADOS	36
FLORA Y FAUNA ASOCIADA	39
7. BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXO I	43
FOTOGRAFICO	43
SEGUIMIENTO COMPARATIVO DEL CRECIMIENTO DE <i>Eulychnia iquiquensis</i>	80
INTRODUCCIÓN DE <i>Eulychnia iquiquensis</i> EN PUNTA GRUESA	102
ANEXO II	110
ORTOFOTOS	110
ANEXO III	147
METODOLOGÍA DE IMÁGENES AÉREAS.....	147
EJEMPLO INFORMACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	151

1. RESUMEN

Se indican los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto: "Evaluación y Caracterización de la Población de *Eulychnia iquiquensis* en la Región de Tarapacá", financiado por el Ministerio del Medio Ambiente, cuyas actividades de terreno fueron realizadas desde octubre 2018 a junio 2019.

El presente estudio se caracterizó y evaluó el estado de conservación de la población de *Eulychnia iquiquensis* en 16 sectores, distribuidos en los tres ecosistemas de mayor densidad de plantas: Iquique, Chipana y Loa. Donde se registró un total de 10.316 ejemplares distribuidos en un 299 Ha entre 450 a 940 mt de altitud. Determinando el estado de conservación, la estructura de talla y vitalidad de los bosques antes citados.

Además, se realizó un análisis comparativo del crecimiento de *Eulychnia* en los ecosistemas de Punta Gruesa, Patache y Punta Lobos con un total de 49 ejemplares comparados entre los años 2002 a 2019, con un crecimiento entre 15 y 50 cm de alto en un lapso de 16 años.

Se realiza además una matriz de riesgo para la población de *Eulychnia iquiquensis*, donde se clasificaron y ponderaron las amenazas identificadas que afectan a esta especie, determinando su estado de peligro.

Finalmente, se introdujeron 30 ejemplares de *Eulychnia iquiquensis* bajo condiciones de atrapaniebla en Punta Gruesa. Estos presentaban de 5 a 9 cm de alto con 7 años de edad cultivados a partir de semillas, a los que se les hará seguimiento por cuatro años como parte del Programa de Forestación de *Eulychnia iquiquensis* realizado con el apoyo de Minera Collahuasi.

2. ANTECEDENTES

Los ecosistemas de niebla costeros del extremo norte de Chile eran prácticamente desconocidos hasta la colecta de Pinto el año 1997 (Muñoz et al. 2001). Nuevos antecedentes entregados indican un total de 116 especies registradas en la zona (Pinto & Luebert, 2009). De estos listados hay varias especies que falta identificar, algunas de ellas corresponden a nuevas especies. Nada se ha hecho aún por estudiar el estado de conservación de estas poblaciones principalmente por ser una vegetación esporádica y efímera, dado que estas especies aparecen exclusivamente durante la primavera de los años con presencia de evento Niño, lo que ha venido ocurriendo en los últimos tiempos cada 5 a 10 años y con distinto grado de intensidad.

Eulychnia iquiquensis por ser una especie perenne arbórea de gran tamaño es la especie bandera de estos ecosistemas. Sin embargo, las poblaciones que se distribuyen de Antofagasta al norte han sido prácticamente diezgadas principalmente por el cambio climático y por la explotación como combustible en el pasado. Lo que ha producido notorio retroceso de sus poblaciones, por la mortandad masiva de ejemplares y por la escasa o casi nula regeneración natural. Por lo que, esta especie ha sido catalogada como EN PELIGRO para las poblaciones del norte de Chile y forma parte del listado de especies prioritarias a tratar por el recientemente creado Plan Nacional de Recuperación, Conservación y Gestión de la Flora Costera del Norte de Chile, RECOGE.

La información relacionada a esta especie en la región de Tarapacá en su mayoría es de generación propia desde 1997 a la fecha, como el trabajo sobre el Estado de conservación de *Eulychnia iquiquensis* (Schumann) Britton et Rose (Cactaceae) en el extremo norte de Chile publicado en la revista Gayana Botánica (Pinto, 2007) (**FIG. 1 a 4**). El artículo sobre el Uso de atrapanieblas para la restauración y recuperación de poblaciones en peligro en el extremo norte de Chile publicado en *Chloris Chilensis* (Pinto, 2014). Así como las experiencias de forestación de esta especie en el sector de Punta Gruesa al sur de Iquique con 260 ejemplares introducidos y 7 años de seguimiento y en el sector de Cerro Pardo en Michilla al norte de Antofagasta con 35 ejemplares introducidos y 2 años de seguimiento.

Recientemente en los resultados de la "Actualización del Catastro de los Recursos Vegetacionales de la Región de Tarapacá" realizado por BIOTA Consultores-CONAF 2018 a través del procesamiento digital de imágenes satelitales con sensor Landsat 8 aparece la distribución de *Eulychnia iquiquensis*. En dicho trabajo el tratamiento de la información se dividió en tres partes:

"La primera fue toda la captura de información en terreno (COT), que finalmente se resumió en un shape. La segunda parte la generación de polígonos a partir de la información espectral, el DEM y sus derivados. En este sentido lo que se utiliza como insumo son las imágenes Landsat OLI (bandas del Visible y el NIR), que están a la misma resolución y el DEM Aster, más sus derivados. También se calcularon los dos índices a partir de las bandas: NDVI y NDWI. Toda esta información ingresa al software que segmenta las imágenes (ecognition) donde no existe información de terreno. A estos polígonos (u objetos) luego son atributados con la información que se levantó en terreno a través de un proceso de extrapolación bastante complejo".

La información recopilada del estudio *op. cit.*, no es comparable con los del presente estudio, toda vez que las metodologías entre ambos trabajos no son comparables, ya que son imágenes planas sin información georreferenciada y la distribución de las poblaciones de *E. iquiquensis* no entrega la data necesaria para su comparación eficaz.

El presente informe muestra los resultados de la evaluación del estado actual de las poblaciones de *Eulychnia iquiquensis* en la costa de Tarapacá, contribuyendo significativamente a la ejecución del Plan RECOGE y generando datos reales de terreno, que permitan llevar a cabo acciones concretas para la protección, propagación y conservación de esta especie.



FIG. 1. Distribución de las poblaciones de *Eulychnia* (círculo negro) para la costa del norte de Chile y su estado de conservación (cruz negra= poblaciones con sólo ejemplares muertos). Tomado de Pinto 2007.

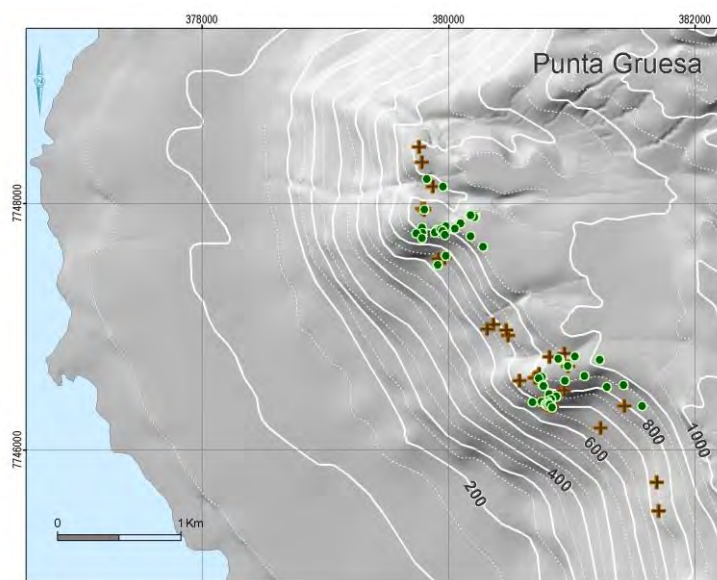


FIG. 2. Distribución de los ejemplares de *Eulychnia* de la población de Punta Gruesa. Tomado de Pinto 2007. Allí se describe un total de 117 ejemplares indicando el estado de conservación: 64 ejemplares vivos = círculo verde, 53 ejemplares muertos = cruz café. De los ejemplares vivos medidos en febrero del 2003 alrededor de 30 miden menos de 2 m de alto. En estos ejemplares se registrará el delta de crecimiento en un período de 16 años.

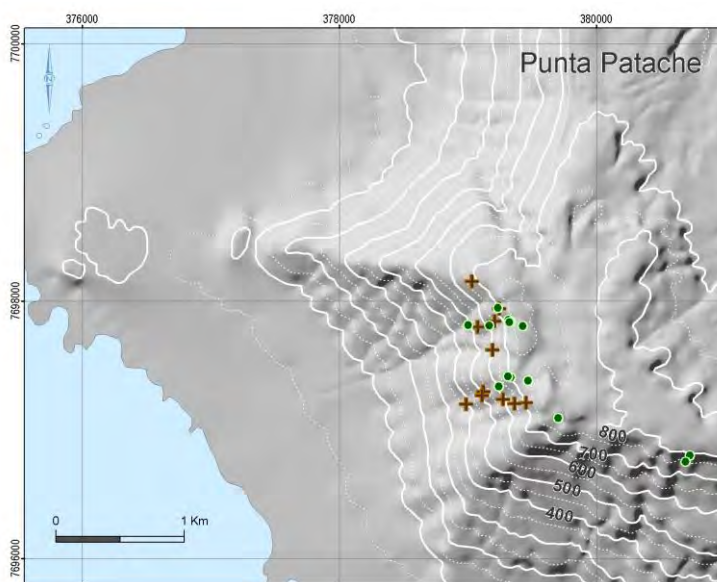


FIG. 3. Distribución de los ejemplares de *Eulychnia* de la población de Patache. Tomado de Pinto 2007. Allí se describe un total de 26 ejemplares indicando el estado de conservación: 15 ejemplares vivos = círculo verde, 11 ejemplares muertos = cruz café. De los ejemplares vivos medidos en febrero del 2003 sólo 3 miden menos de 2 m de alto. En estos ejemplares se registrará el delta de crecimiento en un período de 16 años.

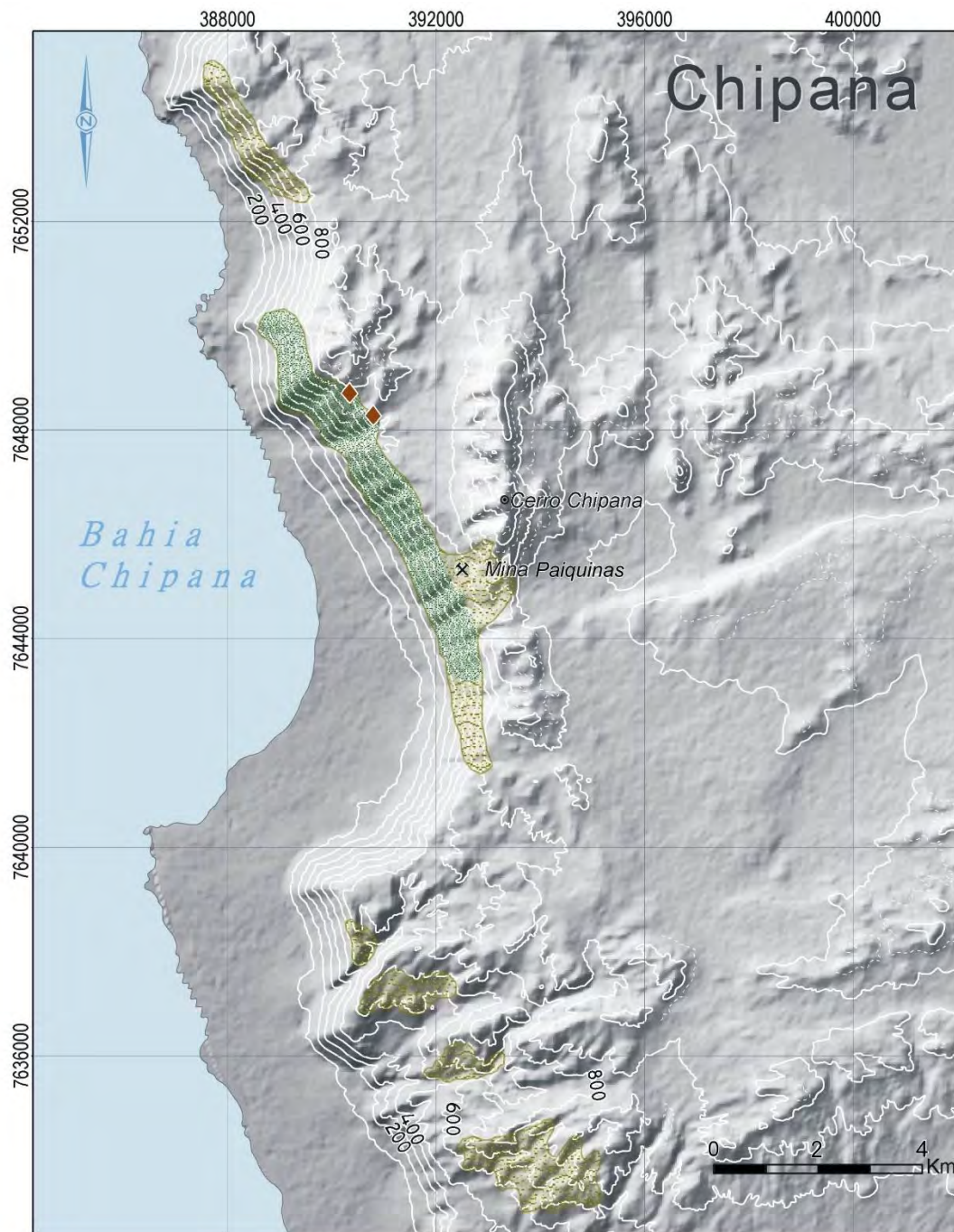


FIG. 4. Distribución de los ejemplares de *Eulychnia* de la población de Chipana. Tomado de Pinto 2007. En ese estudio se describe un total estimado de 9.000 ejemplares: 3.000 vivos y 6.000 muertos. Área verde indica sector de mayor densidad y área amarilla sectores de menor densidad.

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS POBLACIONES DE *Eulychnia iquiquensis* Y SU CARACTERIZACIÓN.

Se conocen doce poblaciones de *Eulychnia iquiquensis* en la costa de Tarapacá. Cinco de ellas al norte de Iquique enumeradas de norte a sur: Caleta Chica, Tiliviche Norte, Junin, entre Caleta Buena e Iquique y Cerro Esmeralda en Iquique. Y seis al sur de Iquique enumeradas de norte a sur: Punta Gruesa, Punta Patache, Pabellón de Pica, Punta Lobos, frente a Playa Iqueique, Chipana (que abarca desde el norte de Huanillos hasta el sur de Mina Paiquina) y alto Río Loa (**TABLA I**).

TABLA I. Localidades con presencia de *Eulychnia*.

N°	LOCALIDADES CON PRESENCIA DE EULYCHNIA
1	Caleta Chica
2	Tiliviche norte
3	Junin
4	entre Caleta Buena e Iquique
5	Iquique Cerro Esmeralda
6	Punta Gruesa
7	Patache
8	Pabellón de Pica
9	Punta Lobos
10	frente Playa Iqueique
11	Chipana
12	Río Loa

Iquique al Norte

Las poblaciones que se encuentran de Iquique al norte son las que presentan un menor número de ejemplares encontrándose en un mayor grado de mortandad y corresponden a sectores de difícil acceso dado que los ejemplares se distribuyen en el acantilado mismo. El acantilado al norte de Iquique es mucho más abrupto que hacia el sur, allí cae en forma casi perpendicular al mar por lo que son sectores muy riesgosos de muestrear. De nuestros conocimientos sólo Caleta Chica y Tiliviche norte presentan algunos ejemplares vivos. Durante la ejecución de este proyecto no se realizaron terrenos a las poblaciones al norte de Iquique por falta de recursos, ya que se priorizaron los muestreos en las poblaciones al sur de Iquique las que muestran mayor presencia de *Eulychnia iquiquensis*.

Iquique al Sur

Las poblaciones que se encuentran al sur de Iquique son las que presentan un mayor número de ejemplares y mayor número de ejemplares vivos. Durante la ejecución de este proyecto no se visitó la población de Pabellón de Pica ni la que existe frente a playa Iqueique. En Pabellón de Pica según nuestros antecedentes sólo hemos registrado ejemplares muertos. La población que se encuentra al frente de Playa Iqueique sólo ha sido detectada a través de larga vista desde la costa ya que desde el interior no tiene acceso vehicular.

Por último, la población de Chipana por ser la más extensa de todo el extremo norte de Chile con alrededor de 24 km de largo desde el sur de Huanillos hasta Alto Río Loa y la que presenta mayor densidad, se le dio preferencia en los muestreos. La parte norte forma un continuo de 16 km desde Huanillos al sur de Mina La Paiquina en el acantilado mismo y en lomajes interiores, lo que en este estudio denominamos como Chipana. La parte sur la conforman tres paños separados y exclusivamente en lomajes interiores desde Punta Chipana a Río Loa, al paño de más al sur lo denominamos Río Loa.

3.1. METODOLOGÍA

Los muestreos de terreno se realizaron entre los meses de diciembre del 2018 y junio del 2019. Para el registro de la población de Cerro Esmeralda en Iquique, se solicitó permiso de visita a la Fuerza Aérea de Chile, dado que en la cima se encuentra un radar de dicha institución. Permiso que fue otorgado. Se adjunta carta autorización. El muestreo se realizó bajo la vigilancia de personal de la Fuerza Aérea de Chile.



Iquique, marzo de 2019

*Señora
Raquel Pinto Bahamonde
Presente.*

Junto con saludarle y en respuesta a la solicitud para poder hacer una visita a los altos del Cerro Esmeralda, con motivo de su Proyecto sobre "Evaluación y caracterización de la población de Eulychnia iquiquensis en la región de Tarapacá", comunico a Usted que su petición ha sido acogida favorablemente con las siguientes consideraciones:

- La visita al sector deberá ser entre los días 25 y 29 de marzo.*
- Será acompañada por personal institucional a fin de indicarle en terreno las zonas en las cuales, eventualmente, no podrían realizarse tomas aéreas.*

Considerando lo anterior, se ha designado como punto de contacto al Teniente Francisco Cáceres V. con el propósito de realizar las coordinaciones de detalle; al cual podrá ubicar en los siguientes números:

Fijo: 572791039, Cel: +56942470997

Finalmente, se hace presente que no existe inconveniente para el ingreso, además de usted, de Don Avelino Muñoz Manterola y Don Roberto Orellana Ojeda.

Sin otro particular saluda atentamente a Ud.,

LEONARDO ROMANINI GUTIÉRREZ
General de Brigada Aérea (A)
COMANDANTE EN JEFE DE LA 1ª BRIGADA AÉREA

Prospección de Parámetros Poblacionales:

La prospección de parámetros poblacionales de *Eulychnia* se centraron en 6 ecosistemas de niebla (**Tabla II y III**) realizándose con diferentes metodologías de acuerdo a la accesibilidad del lugar y densidad de la población, a través de:

1. Cuadrantes con imágenes aéreas de Dron en Iquique, Chipana y Loa. El número de cuadrantes con imágenes aéreas de Dron estuvo supeditado diversos factores como condiciones climáticas (luz, viento y niebla), capacidad de horas de vuelo del Dron, disponibilidad de baterías cargadas por salidas, tiempo de carga de las baterías en el terreno. En cada uno de ellos se registraron un número variable de ejemplares, midiendo alto de la planta, estado fenológico y vigor.
2. Recorridos a pie georreferenciando y midiendo cada uno de los ejemplares donde fue posible acceder en Punta Gruesa, Patache y Punta Lobos dado que actualmente en estos ecosistemas quedan muy pocos ejemplares y estos se encuentran aislados unos de otros. Esto se realizó para el estudio comparativo.

TABLA II. Parámetros que se consideraron en la elección de las localidades ordenadas de norte a sur, donde las tres de más al norte no se visitaron durante la ejecución de este proyecto.

Parámetros	Categoría	Caleta Chica	Tiliviche Norte	Junín	Caleta Buena e Iquique	Iquique	Punta Gruesa	Punta Patache	Babellón de Pica	Punta de Lobos	Iquique	Chipana	Alto Río Loa
N° de Sitios		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N° de Sitios Vistados en este Estudio						1	2	3		4		5	6
Presencia de <i>Eulychnia</i>	En Laderas Interiores										X	X	X
	En el Acanilado	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
Densidad de <i>Eulychnia</i>	Alta											X	X
	Baja	X	X	X	X	X	X	X	X	X	N		
Estado de Conservación de los Ejemplares de <i>Eulychnia</i>	Vivos	X	X				X	X		X	N	X	X
	Muertos	X	X	X	X	X	X	X	X		N	X	X
Acceso al Acanilado por Arriba	En Vehículo	X	X			X	X	X	X	X		X	
	A Pie			X	X						X		X
Georeferenciación	Con Dron	N	N	N	N	X			N		N	X	X
	en Tierra	N	N	N	N	X	X	X	N	X	N	X	X

Donde: N= No se visitó el Lugar

TABLA III. Poblaciones de *Eulychnia* estudiadas en seis ecosistemas de niebla al sur de Iquique.

N°	Localidades Estudiadas	Sector	N° Cuadrantes con Dron	Submuestreo Georreferenciado	Senso Georreferenciado
1	Iquique	Cerro Esmeralda	3	X	
2	Chipana	Norte, Mina Chipana	2	X	
		Centro	2	X	
		Sur, Mina Paiquina	4	X	
3	Loa	Norte	3	X	
		Sur	3	X	
4	Punta Gruesa				X
5	Patache				X
6	Punta Lobos				X

Metodología de Análisis de Imágenes (SIG)

Los vuelos se realizaron con el Dron DJI Phantom 4. Se realizaron 2 procedimientos para calibrar y ajustar los parámetros y variables de análisis de imágenes digitales y sus índices, de tal manera que se realizó la validación *in situ* para la utilización de ortofotos en la caracterización de las poblaciones de *Eulychnia*, identificándose dos categorías de vitalidad: 0 = ejemplar muerto, 1 = ejemplar vivo.

Los procedimientos se realizaron: (i) 29 de agosto de 2018 para la presentación de la Propuesta Técnica del Proyecto y (ii) el 8 de diciembre de 2018, para los ensayos preliminares y determinación de variables a utilizar en el análisis de imágenes digitales, así como también para la elaboración del Informe de Avance I, según carta Gantt, en el sector de Chipana centro (**FOTO 1 y 3**).

En el terreno realizado durante el mes de agosto 2018 aún persistía una densa capa de niebla, característica del periodo invernal, la que dificultó la determinación *in situ* para realizar la ortofotografía y analizar las poblaciones en este período. Es por estos que se trató de realizar los vuelos con días despejados donde sí se pudo constatar que es posible identificar ejemplares vivos o muertos de *Eulychnia* (**FOTO 2**).

Para la toma de imágenes aéreas se trató de ubicar el despegue del dron siempre en los sectores más altos de los ecosistemas en estudio, con el fin que el vuelo sea lo más cercano a la superficie, pero a su vez lo suficientemente alto para evitar que el dron choque con el suelo.



FOTO 1. Sector de Chipana centro. **A.** Con niebla, 29 de agosto 2018. **B.** Despejado, 8 diciembre 2018.

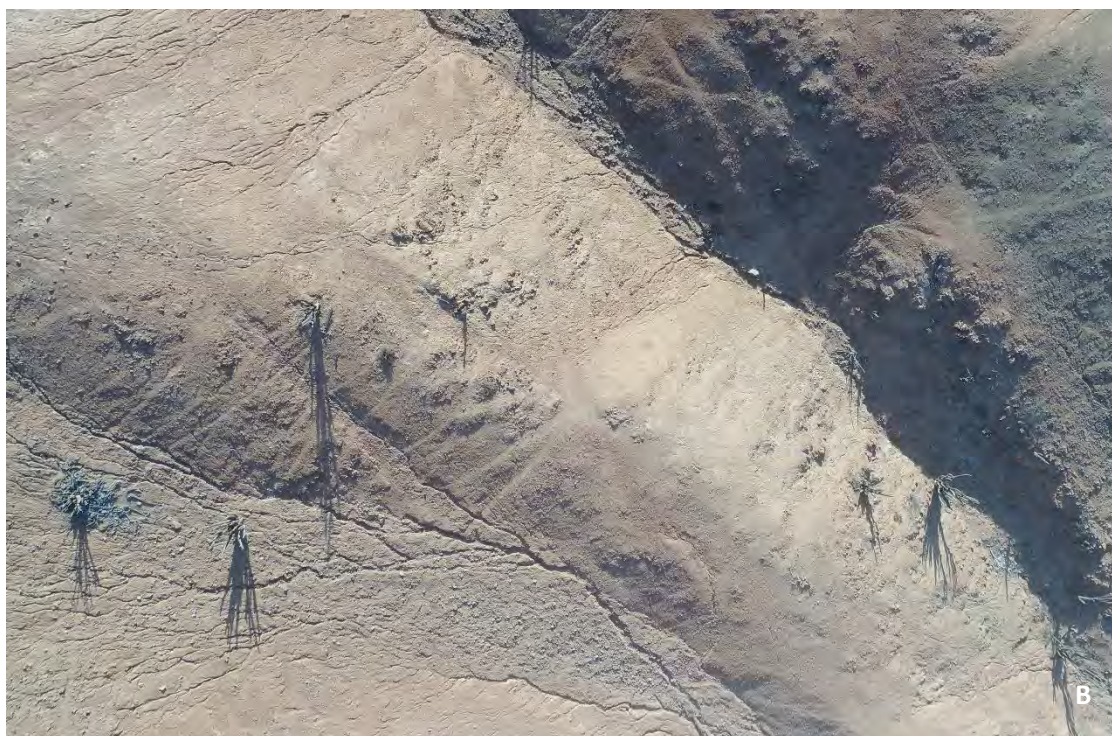


FOTO 2. Fotografía tomada en el recorrido del Dron durante los terrenos (A) 29 de agosto 2018 con niebla y (B) 23 de febrero 2019, sin niebla.



FOTO 3. Dron regresando a al punto de partida luego de terminar el recorrido.

3.2. RESULTADOS

Se realizó un total de 17 cuadrantes con imágenes aéreas, abarcando 299 Ha distribuidas entre 450 y 940 m de altitud (**TABLA IV**). El tamaño de los cuadrantes varió según el relieve y la posibilidad de acceder a sectores apropiados para el despegue del dron. Con esto se evitó que el dron chocara contra el suelo de una ladera, como ocurrió en una oportunidad. Metodológicamente se unieron los cuadrantes de Iquique y de Loa Norte, para un mejor análisis de estos, quedando 13 cuadrantes con 251 Ha analizadas (**TABLA V**).

En terreno se constató que, a pesar de contar con cielos despejado característicos de esta época del año (verano), sólo es posible usar las horas de la mañana para el vuelo del Dron, ya que a medio día comienza a soplar viento fuerte que impide al Dron hacer el recorrido programado con exactitud para la toma de imágenes secuenciales. Además de ser riesgoso para el Dron ya que se puede producir pérdida del aparato. Esto, acotó el número de cuadrantes a realizar sólo dos o tres por día.

TABLA IV. Cuadrantes de muestreo realizados en la toma de imágenes ortofotográficas, por altitud y hectáreas muestreadas.

Fecha	Localidad	Cuadrantes	Ubicación	Rango Altitudinal m			Ha
				min	max	delta	
26-03-2019	Iquique	1	Acantilado	580	760	180	82,76
		2	Acantilado	450	790	340	
		3	Acantilado	640	800	160	
02-02-2019	Chipana Norte	1	Sobre Acantilado	730	770	40	12,91
		2	Sobre Acantilado	730	820	90	11,31
08-12-2018	Chipana Centro	1	Sobre Acantilado	840	910	70	7,53
		2	Sobre Acantilado	850	940	90	7,15
23-02-2019	Chipana Sur	1	Acantilado	600	800	200	13,87
		2	Acantilado	560	840	280	17,6
		3	Sobre Acantilado	810	920	110	10,08
		4 *	Sobre Acantilado	890	930	40	10,31
14-04-2019	Loa Norte	1	Laderas Interiores	740	790	50	9,83
		2	Laderas Interiores	650	750	100	35,53
		3	Laderas Interiores	580	700	120	
24-02-2019	Loa Sur	1	Laderas Interiores	710	770	60	14,25
		2	Laderas Interiores	570	650	80	25,53
		3 **	Laderas Interiores	470	570	100	40,64
Total		17					299,3

Donde * = Cuadrante con niebla en la parte inferior, se considera sólo el área visible que corresponde a 3,15 Ha.

** = Se consideró solo el número total de ejemplares sin diferenciar vivos/muertos

En la localidad de Iquique todos los ejemplares de *E. iquiquensis* se encuentran muertos, por lo que actualmente hay que considerar a esta población como extinta. Britton & Rose (1919), describen que en 1914 los ejemplares del bosque de *Eulychnia iquiquensis* en los cerros de Iquique se extienden “hasta casi llegar al mar”, además mencionan que es “utilizado como combustible, por ser el único recurso leñoso en la zona”. El resultado del presente informe indica que, existe un alto número de grillas sin presencia de *E. iquiquensis* dentro del cuadrante evidenciando que, esta especie fue explotada en el pasado (TABLA V).

TABLA V. Análisis de las grillas de cada uno de los cuadrantes en los tres ecosistemas de niebla muestreados.

Ecosistema	Localidad	Cuadrante	Area		Vivos		Juveniles		Muertos		Sin Eulychnia		Vivos y Muertos	
			Grilla	Ha	Grilla	Ha	Grilla	Ha	Grilla	Ha	Grilla	Ha	Grilla	Ha
1	Iquique	1 - 2 - 3	329	82,76	0	0,00	0	0,00	46	11,57	283	71,19	0	0,00
2	Chipana Norte	1	110	12,91	12	1,08	17	1,52	14	1,26	19	1,70	48	4,30
	Chipana Norte	2	106	11,31	32	2,51	21	1,65	8	0,63	20	1,57	25	1,96
	Chipana Centro	1	113	7,53	16	0,84	3	0,16	31	1,62	49	2,56	14	0,73
	Chipana Centro	2	111	7,15	5	0,25	12	0,60	26	1,29	35	1,74	33	1,64
	Chipana Sur	1	105	13,87	1	0,10	0	0,00	20	1,93	2	0,19	82	7,90
	Chipana Sur	2	107	17,60	1	0,12	0	0,00	31	3,79	22	2,69	53	6,48
	Chipana Sur	3	107	10,08	2	0,14	8	0,56	14	0,98	26	1,82	57	3,99
	Chipana Sur	4	44	3,15	7	0,50	0	0,00	6	0,43	4	0,29	27	1,93
3	Loa Norte	1	92	9,83	8	0,55	0	0,00	65	4,44	16	1,09	3	0,20
	Loa Norte	2 - 3	132	35,53	2	0,54	0	0,00	97	26,11	12	3,23	21	5,65
	Loa Sur	1	110	14,25	12	1,19	0	0,00	48	4,75	37	3,66	13	1,29
	Loa Sur	2	102	25,55	10	1,77	0	0,00	75	13,31	5	0,89	12	2,13
Total		13	1568	251,52										

El estado de conservación de bosque de *Eulychnia* en los sectores muestreados de los diferentes ecosistemas de niebla se muestra en la TABLA VI. De 299,32 Ha totales y 10.316 ejemplares contabilizados, se analizaron 251,52 Ha, donde se contabilizó 9.344 ejemplares de los cuales 1.380 corresponden a *Eulychnia* vivas y 7.964 muertas, lo que representa el 85% de mortandad.

Chipana y Loa presentan una densidad promedio total similar de 43 y 47 ind/Ha, respectivamente. Sin embargo, el estado de vitalidad del bosque es distinto, ya que Chipana presenta una densidad promedio de 14 ind/Ha vivos respecto al Loa con 1 ind/Ha, para el caso de los ejemplares muertos Chipana presenta 29 ind/Ha versus El Loa que presenta una densidad promedio total de 45 individuos muertos por hectárea.

TABLA VI. Estado de conservación de la población de *Eulychnia iquiquensis* en los tres ecosistemas de niebla muestreados.

Ecosistema	Localidad	Cuadrante	Ha	Muestras Ortofotografía N° Ejemplares			Total por Ecosistema		Densidad N° Ejemplar/Ha		
				Vivos	Muertos	Total	N° Ejemplar	Mortandad	Vivos	Muertos	Total
1	Iquique	1	82,76	0	249	249	711	100%	0	9	9
		2		0	305	305					
		3		0	157	157					
2	Chipana Norte	1	12,91	247	689	936	3.986	68%	19	53	73
		2	11,31	312	133	445			28	12	39
	Chipana Centro	1	7,53	55	99	154			7	13	20
		2	7,15	108	262	370			15	37	52
		1	13,87	190	689	879			14	50	63
		2	17,6	123	457	580			7	26	33
		3	10,08	154	281	435			15	28	43
		4*	3,15	78	109	187			8	11	18
		3	9,83	11	327	338			1	33	34
Loa Norte	2	35,53	42	2.252	2.294	1	63	65			
	3										
Loa Sur	1	14,25	30	238	268	2	17	19			
	2	25,55	30	1.717	1.747	1	67	68			
Total		13	251,52	1.380	7.964	9.344	9.344	85%	118	418	536
3	Loa Sur	3 **	40,64			972					
Total		17	299,3	1.380	7.964	10.316					

La presencia de ejemplares juveniles de *E. iquiquensis* se registró sólo en el ecosistema de Chipana (TABLA VII), donde de los 8 cuadrantes estudiados en 5, se encontró juveniles. El sector de Chipana Centro 2, posee la mayor cantidad de ejemplares juveniles con un 22%, seguido de Chipana Norte 1 con un 10%, dichos lugares se encuentran en el borde superior del acantilado y poseen características geomorfológicas similares, con presencia de afloramientos rocosos. Es importante destacar que, aunque existe presencia de juveniles ésta es muy baja (9%), como para asegurar la renovación real del bosque.

TABLA VII. Presencia de juveniles por localidad de *Eulychnia iquiquensis*.

Localidad	Adultos		Juvenil		Total	
Chipana Norte 1	222	90%	25	10%	247	100%
Chipana Norte 2	290	93%	22	7%	312	100%
Chipana Centro 1	52	95%	3	5%	55	100%
Chipana Centro 2	84	78%	24	22%	108	100%
Chipana Sur 3	145	94%	9	6%	154	100%
Total	793	91%	83	9%	876	100%

Se georreferenciaron 273 ejemplares de *E. iquiquensis* vivos, de las cuales 203 corresponden a Chipana y 70 a Loa. Para el rango talla del ecosistema Chipana se registró mínima de 0,05 y máxima de 8,0 mt, en el caso del Loa el rango vario entre 0,30 a 5,2 mt de alto. (GRAFICO 1)

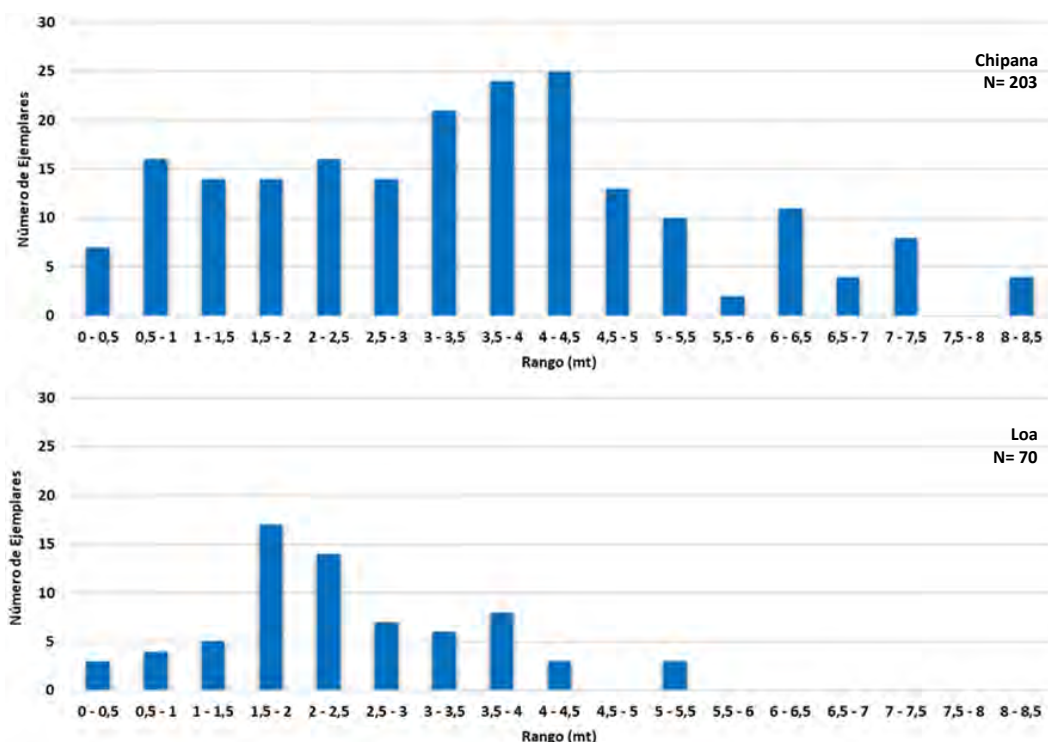


GRAFICO 1: Estructura de talla de *Eulychnia iquiquensis*, en los ecosistemas de Chipana y Loa

En relación al estado de conservación de los individuos georreferenciados la **TABLA VIII**, muestra que Chipana presenta un 77% de individuos con una condición entre débil y muy débil, y en el caso del Loa posee 88%. Por otra parte, en Chipana se registró un mayor número de ejemplares en mejor estado de conservación respecto al Loa.

TABLA VIII. Estado de conservación de *Eulychnia iquiquensis* en los dos ecosistemas de niebla con presencia de ejemplares vivos.

Ecosistema	Muy débil		Débil		Normal		Vigoroso		Total	
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
Chipana	85	42%	71	35%	46	23%	1	0%	203	100%
Loa	33	47%	29	41%	8	11%	0	0%	70	100%
Total	118	43%	100	37%	54	20%	1	0%	273	100%

Este trabajo valida la clasificación de *E. iquiquensis* como **En Peligro** para la Región de Tarapacá, haciendo necesario realizar acciones que permitan revertir y mejorar su estado actual, para ello y según los resultados del presente estudio el ecosistema de Chipana presenta la mejor condición para la ejecución de un programa de recuperación, conservación y seguimiento de la especie.

Por el contrario, la población de *E. iquiquensis* del Loa, está compuesta principalmente por ejemplares muertos (98%), con un alto índice de mortandad, y una muy baja densidad de ejemplares vivos que se encuentran en muy mal estado de conservación.

FLORA ASOCIADA

Los terrenos para la evaluación de la población de *Eulychnia* se realizaron durante la temporada de verano, por lo que no es un período apropiado para registrar diversidad de flora. Sin embargo, a pesar que las plantas se encontraban secas fue posible determinar las especies dado el conocimiento previo con que se cuenta. Se registró presencia de 15 especies de flora asociada que corresponden a subarborescentes bajas como *Nolana villosa*, *Nolana sedifolia*, *Nolana peruviana*, *Atriplex taltalensis*, *Chenopodium petiolare*, *Ophryosporus floribundus*, *Tetragonia angustifolia*, *Frankenia chilensis* y *Ephedra breana*. Herbáceas tanto perennes como anuales como *Sibara anethifolia*, *Nolana patachensis*, *Cistanthe celosioides*, *Cristaria virideoluteola*, *Leucocoryne appendiculata* y *Alstroemeria* sp. (FOTO I.I.48 y I.I.49)

De estas, *Nolana villosa* que es una especie endémica de Chile corresponde a un nuevo registro para Tarapacá y constituye una extensión de rango para la especie, ya que estaba citada para la región de Antofagasta y Atacama.

El ecosistema alto Loa es un sector prácticamente desconocido, sólo cuenta con un registro previo de flora, 12 especies el año 2015 por Paulina Vasquez profesional del Sernageomin de Santiago.

El **ANEXO FOTOGRÁFICO I.I.** Referido a la caracterización de las poblaciones de *Eulychnia* con cuadrantes de ortofotos (**FOTO 1 a 47**) muestra algunas observaciones obtenidas de cada uno de los sectores muestreados ordenados de norte a sur.

Localidad	Foto
Iquique	1 al 6
Chipana norte	7 al 18
Chipana centro	19 al 25
Chipana sur	26 al 33
Loa norte	34 al 39
Loa sur	40 a 47

En el **ANEXO II** se muestran las ortofotos tomadas de cada uno de los cuadrantes realizado con la grilla respectiva para el análisis digital y levantamiento de información, que se sistematiza en la base de datos. Así como la localización exacta de cada uno de los cuadrantes realizados. En ellos se incorporaron los puntos control de las plantas medidas en terreno, de cuatro a once ejemplares por cuadrante, en relación al tamaño de la planta y el estado de conservación de cada uno de ellos (vivo o muerto). Adicionalmente se confirmó por medio del registro fotográfico de los ejemplares muestreados, este permitió tener la certeza durante el análisis digital respecto a la correcta identificación de los individuos contabilizados en los cuadrantes.

Localidad	Figura
Iquique	1 al 5
Chipana norte	6 al 10
Chipana centro	11 al 15
Chipana sur	16 al 24
Loa norte y sur	25 al 36

Por último, el **ANEXO III A** entrega la metodología utilizada en la toma de las imágenes aéreas. Y en el **ANEXO III B** se entrega un ejemplo la información que se obtiene por medio del procesamiento digital de cada una de las ortofotos utilizadas en el presente estudio de los sectores muestreados *in situ*, siendo esta una metodología no invasiva.

4. SEGUIMIENTO COMPARATIVO DEL CRECIMIENTO DE *Eulychnia iquiquensis*.

4.1. METODOLOGÍA

Se visitaron los tres sectores propuestos, los ecosistemas de niebla de Punta Gruesa (9 de marzo y 28 de mayo, 2019), Patache (29 de enero, 2019) y Punta Lobos (30 de enero y 12 de marzo, 2019). Se controló el crecimiento de *Eulychnia* entre el año 2002 y 2018, menores de 2,0 m de alto con lo que se obtuvo un delta de crecimiento en un período de 16 años, usando de base a los antecedentes y resultados obtenidos en el año 2002-2003 (Pinto, 2007).

Se fotografió, georreferenció y midió cada uno de los ejemplares (alto y diámetro de follaje). Para la toma de la fotografía se llevaron impresas las imágenes de años anteriores para tratar de que coincidiera el ángulo de la nueva toma fotográfica. Se evaluó el estado de conservación de los ejemplares según una estimación de vigor en cuatro categorías:

- 01 = Vigoroso** (costillas anchas, ramas gruesas, epidermis verde, areolas con espinas, espinas nuevas en ápice y tallos)
- 02 = Normal** (costillas normales, ramas con espinas, epidermis verde y espinas nuevas sólo en los ápices de las ramas)
- 03 = Débil** (costillas profundas, epidermis amarillo grisáceo con algo verde en el ápice, ramas inclinadas con muy pocas espinas, sin signos de crecimiento)
- 04 = Muy débil** (costillas muy profundas, ramas delgadas, epidermis amarillo grisáceo, ramas casi sin espinas, sin signos de crecimiento)

Esta escala se hizo de acuerdo a: ancho y profundidad de las costillas, areolas con o sin espinas, coloridos de la epidermis, tronco y/o ramas erectas o inclinadas, ramas en el suelo y capacidad de crecimiento. Parámetros que no se consideraron: carga de flores, ya ésta depende del tamaño y la edad de la planta y cantidad de agua caída; carga de frutos ya que ésta depende de la presencia/ausencia de polinizadores. Tampoco se consideró daño provocado en el tronco por mordeduras de guanaco en el pasado ya que esta especie logró

resistir bien este daño sin mermar su desarrollo y todas las plantas adultas presentan en el tronco antiguas erosiones de mordedura cicatrizadas.

El estado fenológico de cada una de las plantas medidas se determinó de acuerdo a lo observado según la fecha de muestreo.

Fl = Flor abierta en la planta

Fr = Fruto en la planta y fruto maduro en el suelo

Fla = Flor abortada del año en el suelo (pelos dorados)

Flaa = Flaa abortada de años anteriores (pelos grises)

Eulychnia iquiquensis desarrolla botón en los meses de septiembre-octubre, flor abierta en noviembre-diciembre y fruto maduro en febrero-marzo, todo esto dependiendo de la cantidad de agua caída durante los meses de invierno y de la presencia de polinizadores. Esta especie alcanza su talla reproductiva sobre los dos metros de alto, produciendo en un principio una o dos flores, aumentando el número de estas a medida que la planta se ramifica con la edad, llegando a producir más de 80 flores por planta. Sin embargo, la floración no asegura la producción de frutos, ya que es dependiente de la presencia de polinizadores.

4.2. RESULTADOS

En el **Anexo Fotográfico I.II** se muestran las imágenes comparativas de algunos de los ejemplares de *Eulychnia* analizados.

Se controló en total 49 ejemplares de *Eulychnia*. Los ejemplares medidos en general se distribuyen sobre los 800 m de altitud salvo unos pocos ejemplares que se encuentran a los 600 m altitud. Las **TABLAS IX, X, XI y XII** muestran los análisis comparativos del crecimiento individual de los ejemplares de *E. iquiquensis* en un lapso de 16 años, entre el 2002 y 2018, según los antecedentes y resultados publicados en Pinto (2007) y en este estudio respectivamente. A continuación, se detallan por sitio de estudio.

ECOSISTEMA DE NIEBLA DE PUNTA GRUESA

Se ubica a 20 km al sur de Iquique. En enero de 2019 se midieron en total 33 ejemplares que habían sido muestreados previamente en febrero de 2003, con un período de seguimiento de 16 años. De estos un 15 % mostró decrecimiento (5 ejemplares) debido a que se les cortó la rama mayor, producto del temporal de viento y arena ocurrido en julio de 2016 en la zona. Por otro lado, se registró un 9 % de mortandad (3 ejemplares que murieron), correspondiendo a un ejemplar menor de 50 cm de alto y dos ejemplares adultos mayores de 4 m de alto todos ellos ubicados en el sector sur del ecosistema (**TABLA IX y X, FOTO I.II.1 a 17**).

Dado que en este sitio se lleva a cabo la experiencia de forestación y revitalización de *Eulychnia* desde el año 2011 bajo condiciones de mini atrapaniebla, el delta de crecimiento se analizará por separado en dos grupos y considerando sólo los ejemplares menores de 2 m de alto: **A.** Ejemplares sin atrapaniebla que no fueron afectadas por condiciones externas y **B.** Ejemplares con atrapaniebla con aporte hídrico desde mayo 2011.

- A.** Once ejemplares sin atrapaniebla que no fueron afectados por condiciones externas mostraron un crecimiento promedio de 40 cm de alto, con máxima de 88 cm y

mínima de 3 cm, lo que da un crecimiento promedio anual de 3 cm, lo que da un crecimiento promedio anual de 3 cm de alto.

- B.** Cinco ejemplares con atrapaniebla con aporte hídrico desde hace 8 años mostraron un crecimiento promedio de 60 cm de alto, con máxima de 137 cm y mínima de 35 cm, lo que da un crecimiento promedio anual de 8 cm de alto.

En general en este sitio los ejemplares se encuentran en buenas condiciones (73 % en estado normal y vigoroso) principalmente los ejemplares que se encuentra en el acantilado de exposición sur en el extremo norte del ecosistema.

TABLA IX. Ejemplares de *Eulychnia iquiquensis* medidos en Punta Gruesa, 01 enero 2019 y enero 2019, en un lapso de tiempo de 16 años.

N°	Coordenadas UTM		Altitud m	Estado Conservación V=vivo M=muerto	feb-03	ene-19	Delta crecimiento en 16 años m	Vigor 2019	Estado Fenológico					Foto	A	Planta Marcada N°
	Lat	Long			Alto m	Alto m			V= vegetativo R=reproductivo	Fl	Fr	Fla	Flaa			
1	380071	7747287	850	V	1,60	2,02	0,42	debil	V							1
2	379970	7747379	841	V	1,40	2,77	1,37	vigorosa	R	-	1	1	-		x	2
3	379892	7747483	833	V	4,40	3,75	-0,65	debil	R	-	2	7	x			38
4	380001	7747530	817	V	0,65	1,07	0,42	normal	V							39
5	380000	7747549	826	V	1,75	2,36	0,61	vigorosa	V							40
6	380000	7747550	826	V	5,20	5,02	-0,18	normal	R	-	5	2	x			41
7	379971	7747553	816	V	4,50	5,12	0,62	normal	R	-	2	3	x			42
8	379970	7747550	815	V	0,36	0,39	0,03	muy débil	V							43
9	379973	7747547	815	V	0,62	0,90	0,28	debil	V							44
10	379825	7747439	854	V	0,65	0,75	0,10	normal	V							14
11	379772	7747461	847	V	1,60	2,14	0,54	normal	R	-	1	2	x			3
12	379770	7747454	844	V	2,40	2,97	0,57	vigorosa	R	-	3	20	x		x	4
13	379751	7747434	819	V	0,10	0,50	0,40	normal	V						x	12
14	379751	7747434	820	V	0,10	0,45	0,35	normal	V						x	13
15	379737	7747429	816	V	4,00	4,40	0,40	vigorosa	R	-	14	2	x		x	11
16	379751	7747432	818	V	0,37	0,72	0,35	vigorosa	V						x	10
17	379693	7747417	806	V	0,38	0,60	0,22	normal	V							8
18	379683	7747414	796	V	4,30	3,37	-0,93	normal	R	-	10	10	x			7
19	379683	7747414	796	V	0,05	0,21	0,16	normal	V							7a
20	379682	7747432	807	V	0,28	0,81	0,53	vigorosa	V						x	6
21	379679	7747443	821	V	3,40	3,77	0,37	vigorosa	R	-	4	4	x		x	5
22	379769	7747217	672	V	0,92	1,80	0,88	normal	V							
23	379712	7747151	624	V	1,67	2,00	0,33	normal	V							
24	379768	7747373	793	V	3,50	3,75	0,25	normal	R	-	2	2	x			
25	381045	7746316	891	V	2,20	2,62	0,42	normal	V							
26	380893	7746250	880	V	1,14	1,65	0,51	normal	V							
28	380683	7746388	812	V	1,10	0,70	-0,40	muy debil	V							
29	380695	7746383	813	M	0,46	0,42	-0,04	muerta	-							
30	381045	7746316	891	V	2,20	2,62	0,42	normal	V							
31	381416	7746529	842	M	4,20	3,70	-0,50	muerta	-							
32	381280	7746514	819	M	4,50	3,60	-0,90	muerta	-							
33	381568	7746360	812	V	4,40	4,20	-0,20	debil	V							

plantas que no fueron afectadas por condiciones externas

plantas con atrapanieblas desde 2011

plantas con rama mayor cortada por viento

plantas que murieron

TABLA X. Promedios de crecimiento en alto de ejemplares de *Eulychnia iquiquensis* medidos en Punta Gruesa, en febrero 2003 y enero 2019, en un lapso de tiempo de 16 años.

	feb-03	ene-19	delta	
	Alto	Alto	crecimiento	crecimiento
	m	m	16 años	anual
			alto en m	alto en m
N = 11, plantas que no fueron afectadas				
Prom	0,98	1,38	0,40	0,03
Max	1,75	2,36	0,88	0,06
Min	0,05	0,21	0,03	0,00
N = 5, plantas con atrapaniebla desde 2011				
prom	0,45	1,05	0,60	0,08
max	1,40	2,77	1,37	0,17
min	0,45	1,05	0,35	0,04
N = 4, plantas con rama mayor cortada por viento				
prom	3,75	3,21	-0,54	
max	5,20	5,02	-0,18	
min	1,10	0,70	-0,93	
N = 3, plantas que murieron				
prom	3,05	2,57	-0,48	
max	4,50	3,70	-0,04	
min	0,46	0,42	-0,90	

ECOSISTEMA DE NIEBLA DE PATACHE

Se ubica a 70 km al sur de Iquique. Se midieron 11 ejemplares de los cuales 8 habían sido medidos en febrero de 2003. De estos un 12 % mostró decrecimiento (1 ejemplar) debido a que se le cortó la rama mayor, producto del temporal de viento y arena ocurrido en julio de 2016 en la zona. Y por otro lado se registró un 12 % de mortandad (1 ejemplar que murió). Para el análisis de la respuesta de crecimiento de 4 ejemplares menores de 2 m de alto se consideraron sólo 2 de ellos, ya que un ejemplar murió y a otro se le había instalado atrapaniebla por dos años (**TABLA XI, FOTO I.II.18 a 24**).

Los 2 ejemplares mostraron un crecimiento promedio de 15 cm de alto en 16 años de seguimiento con máxima de 30 cm y mínima de 0 cm, lo que da un crecimiento anual de 1 cm.

En general en este sitio los ejemplares se encuentran en malas condiciones (57 % en estado débil y muy débil), no encontrándose ejemplares vigorosos. Dos factores están influyendo en esto: es el sitio en que el acantilado alcanza menores altitudes y la existencia del Puerto Patache en el litoral costero del cual emanan contaminantes, material particulado y altas temperaturas.

En este sitio tampoco existen ejemplares juveniles el único registrado el 2003 menor de 40 cm de alto que murió (**FOTO I.II.18**). Sin embargo, el año 2012 se introdujeron 19 ejemplares cultivados a partir de semilla, los cuales no tuvieron el cuidado y seguimiento por parte del Centro del Desierto de la Pontificia Universidad Católica por lo que se tomó la decisión de sacarlos del lugar y reintroducirlos en el sector de Punta Gruesa, donde se mantiene monitoreo constante. Se dejó en Patache un solo ejemplar el cual ha crecido 10.5 cm en 7 años, lo que da un crecimiento anual de 1.5 cm (**FOTO I.II.24**)

TABLA XI. 11 ejemplares de *Eulychnia iquiquensis* medidos en Patache, enero 2019. Se indica el delta de crecimiento en un intervalo de tiempo de 16 años de los 8 ejemplares medidos en febrero de 2003.

Nº	Coordenadas UTM		Altitud m	Estado Conservación V=vivo M=muerto	feb-03 Alto m	ene-19 Alto m	Delta crecimiento en 16 años m	Vigor	Estado fenológico					
	Lat	Long							V= vegetativo R=reproductivo	Fl	Fr	Fla	Flaa	Foto
1	379109	7697480	699	V	2,40	2,60	0,20	débil	V					
2	379097	7697497	700	V	2,60	3,40	0,80	débil	V					
3	379103	7697473	695	V	1,10	1,10	0,00	muy débil	V					
4	378940	7697432	580	V	1,90	2,20	0,30	muy débil	V					
5	378873	7697453	533	M	0,40	0,40	0,00	muerto	-					13
6	379233	7697945	717	V	1,95	2,70	0,75	normal	R	-	-	1	-	14
7	380523	7696436	753	V	3,80	2,70	-1,10	normal	V	-	-	-	x	15
8	380474	7696389	732	V	3,50	4,00	0,50	normal	R	-	-	2	x	16
9	378988	7697458	616	M		1,20		muerto						
10	378864	7697434	529	M		1,20		muerto						
11	378979	7697269	583	M		3,30		muerto						

ECOSISTEMA DE NIEBLA DE PUNTA LOBOS

Se ubica a 100 km al sur de Iquique. Se midieron 18 ejemplares de los cuales 8 habían sido medidos en octubre de 2001. Para el análisis de la respuesta de crecimiento se consideraron los 6 ejemplares menores de 2 m de alto, estos mostraron un crecimiento en promedio de 50 cm de alto en 17 años de seguimiento con máxima de 75 cm y mínima de 32 cm, lo que da un crecimiento anual de 3 cm (**TABLA XII, FOTO I.II.25 a 27**).

En este ecosistema los ejemplares de *Eulychnia* se encuentran en buenas condiciones de con un 60 % de ellos en estado vigoroso. Esto avala que este lugar amerita estar protegido y donde se deberían desarrollar programas de forestación de esta especie.

TABLA XII. 18 ejemplares de *Eulychnia iquiquensis* medidos en Punta Lobos, enero 2019.

Se indica el delta de crecimiento en un intervalo de tiempo de 17 años de los 8 ejemplares medidos en octubre de 2001.

N°	Coordenadas UTM		Altitud m	Estado Conservación V=vivo M=muerto	oct-01 Alto m	ene-19 Alto m	Delta crecimiento en 17 años m	Vigor	Estado Fenológico					Foto
									V= vegetativo R=reproductivo	Fl	Fr	Fla	Flaa	
	Lat	Long												
1	382966	7670942	742	V		0,90		normal	V					
2	405875	7630986	784	V	2,10	2,50	0,40	vigoroso	R	-	-	11	x	19
3	382704	7671455	824	V	0,60	1,20	0,60	vigoroso	V					
4	382650	7671468	831	V	0,55	1,10	0,55	vigoroso	R	-	-	1	-	
5	382615	7671530	862	V	0,40	0,72	0,32	vigoroso	V					17
6	382596	7671490	839	V	2,00	2,84	0,84	normal	V					
7	382600	7671512	848	V	1,55	2,30	0,75	vigoroso	V					
8	382570	7671549	861	V	1,35	1,95	0,60	vigoroso	V					18
9	382573	7671549	862	V	0,45	1,10	0,65	vigoroso	V					18
10	382380	7671635	847	V		1,65		vigoroso	V					
11	382337	7671582	813	V		2,13		normal	V					
12	382274	7671616	808	V		0,52		normal	V					
13	382245	7671621	803	V		2,27		vigoroso	R	-	3	6	x	
14	382249	7671639	813	V		3,35		vigoroso	R	1	7	75	x	
15	382329	7671693	868	V		0,87		vigoroso	V					
16	382796	7671453	790	V		1,85		normal	V					
17	382129	7671809	836	V		1,20		normal	V					
18	381351	7672799	783	V		2,00		débil	R	-	-	8	x	

5. IDENTIFICACIÓN DE LAS AMENAZAS Y PROPUESTA PARA SU CONTROL

Se elaboró una escala de riesgo según el levantamiento de los agentes de riesgos y parámetros que afecta el desarrollo del bosque de *E. iquiquensis*, donde se determinó el estado de cada ecosistema.

Score	Estado de Riesgo
0	Extinto
1	Alto Riesgo de Extinción
2	Riesgo Moderado
3	Riesgo Bajo
4	Fuera de Riesgo
5	Buen Estado

En la **TABLA XIII** que, de los ecosistemas evaluados en la matriz de riesgo, Iquique se encuentra extinto, seguido del Loa (sc=1,6), Patache (sc=1,7) y Chipana (sc=1,9), si viene bien estos tres sectores tienen una escala de riesgo muy cercana, la diferencia está en Chipana donde se encontró la presencia de frutos en las campañas realizadas en el presente estudio, caso contrario en los otros ecosistemas. El estado sanitario de los bosques, antes citados, se encuentra con un alto riesgo de extinción (sc=1,4), principalmente por la ausencia de plántulas, juveniles y adultos fértiles, afecta directamente las posibilidades de permanencia en el tiempo.

Por otra parte, Punta Gruesa (sc=2,5) y Punta Lobos (sc=2,9) muestran menores índices de riesgo, pero ellos se deben básicamente por ser áreas intervenidas favorablemente, a través de programas de mantención de la flora costera entre ellos *E. iquiquensis*.

De los se ecosistemas evaluados, Chipana posee las mejores condiciones para la ejecución de acciones que permitan mejorar la condición sanitaria del bosque, toda vez que siendo un sector sin intervención antrópica directa, posee un Riesgo Moderado.

TABLA XIII. Matriz de Riesgos según las amenazas identificadas para los ecosistemas estudiados

Escala de Riesgo	Extinto		Riesgo Moderado		Riesgo Moderado		Riesgo Moderado		Riesgo Moderado		Riesgo Bajo	
Agentes de Riesgos	Riesgo	0,0	Riesgo	1,9	Riesgo	1,6	Riesgo	2,5	Riesgo	1,7	Riesgo	2,9
	Iquique		Chipana		Alto Rio Loa		Punta Gruesa		Patache		Punta Lobos	
Antrópicos	45	1	45	2	45	1	45	2	45	2	45	2
1.- Acceso	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0
2.- Proyectos mineros	0	0	2	0	3	0	3	0	2	0	1	0
3.- Servidumbre de proyectos mineros	0	0	2	0	1	0	2	0	2	0	1	0
4.- Asentamientos urbanos	0	0	3	0	0	0	2	0	2	0	1	0
5.- Proyectos mineros en la cordillera de la costa	0	0	1	0	2	0	1	0	2	0	2	0
6.- Servidumbre de los proyectos mineros en la C. Costa	5	0	1	0	1	0	1	0	2	0	2	0
7.- Red vial	5	0	2	0	0	0	1	0	1	0	1	0
8.- Mineras en Explotación sector meridional	0	0	1	0	1	0	1	0	2	0	3	0
9.- Mineras Explotadas sector Cordillera de la Costa	0	0	1	0	0	0	1	0	4	0	4	0
Naturales	40	2	40	3	40	2	40	3	40	2	40	3
1.- Disponibilidad Hídrica	2	0	1	0	2	0	4	0	3	0	4	0
1.1.- Niebla Costera	2	0	3	0	2	0	4	0	2	0	4	0
1.2.- Sequia	4	0	5	0	5	0	5	0	4	0	4	0
1.3.- Lluvia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.- Aluviones	3	0	3	0	3	0	2	0	2	0	3	0
3.- Movimientos Telúricos	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0	3	0
4.- Tormentas de Vientos	3	0	4	0	2	0	4	0	2	0	3	0
5.- Tormentas de Arenas	2	0	3	0	2	0	3	0	2	0	3	0
Estado Sanitario del Bosque	75	2	75	2	75	2	75	2	75	2	75	3
1.- Vitalidad	0	0	1	0	1	0	3	0	1	0	4	0
2.- Densidad Total	0	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0
3.- Densidad por grupo etáreo	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3.1.- Densidad Adultos fértiles	0	0	1	0	0	0	2	0	1	0	3	0
3.2.- Densidad Juveniles	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
3.3.- Densidad Plántulas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.4.- Densidad Muertos	5	0	3	0	4	0	3	0	3	0	4	0
4.- Enfermedades y/o parásitos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.- Ausencia de Polinizadores	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
6.- Ausencia de Vectores de dispersión de semillas	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0	5	0
7.- Estado de germinación	0	0	3	0	0	0	2	0	1	0	3	0
8.- Requerimientos Hídricos	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	5	0
9.- Condiciones para Germinación y Desarrollo Juvenil	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0
10.- Condiciones de Altitud	0	0	2	0	1	0	3	0	2	0	4	0
11.- Estado de Depredación prereclutas	5	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0
Condición del Bosque	5	0	5	1	5	1	5	3	5	1	5	4

6. INTRODUCCIÓN DE 30 EJEMPLARES DE *Eulychnia iquiquensis* EN EL ECOSISTEMA DE NIEBLA DE PUNTA GRUESA

6.1. METODOLOGÍA

Se introdujeron 30 ejemplares del cactus *Eulychnia iquiquensis* en el sector donde se lleva a cabo la experiencia de forestación de esta especie desde el año 2011 bajo condiciones de mini atrapaniebla, en los altos del ecosistema de niebla de Punta Gruesa, a 20 Km al sur de Iquique. Allí hay a la fecha 260 ejemplares de *Eulychnia* y 101 atrapanieblas instalados (Pinto 2012, 2018a). Los ejemplares fueron cultivados a partir de semilla e introducidos al hábitat con 12 a 5 cm de alto que corresponde a 12 a 5 años de edad. El sector se ubica en la ladera de exposición sur del acantilado a lo largo de 400 m entre 800 y 850 m de altitud abarcando un área aproximada de 2.2 ha (**FIG. 5.1**). Se eligió este sector justamente por la presencia de 15 ejemplares originales vivos de *Eulychnia* en un rango de tamaño de 0.15 a 4 m de alto (Pinto 2007).

A los 30 ejemplares introducidos como parte del presente proyecto se les hará seguimiento por cuatro años durante los monitoreos sucesivos comprometidos en el Programa de Forestación con Minera Collahuasi.

La elección exacta del sitio para este proyecto se hizo en base a una visita de reconocimiento de terreno el día 23 de abril de 2019 junto a Javiera Zamora Marín profesional de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la región de Tarapacá a cargo de la contraparte técnica del proyecto. En esa oportunidad se eligió el sector poniente de la forestación que corresponde a un sector de farellones de afloramiento rocoso y rodados de roca fragmentada gruesa donde el acantilado presenta alrededor de 50° de inclinación en un área aproximada de 0.2 ha (**FIG. 5.1**). A pesar de ser un sector de riesgo por la inclinación del acantilado y la erosión del sustrato producto de la fragmentación de las rocas que se desprenden muy fácilmente, se eligió este sitio dado que es el único sector donde existen dos ejemplares originales pequeños vivos (15 cm de alto) de *Eulychnia* en todo el ecosistema de niebla.

La introducción de ejemplares se realizó durante los días 28 y 29 de abril de 2019.

La metodología utilizada fue la misma que se ha estado usando desde el 2011 o sea los ejemplares se plantaron bajo condiciones de atrapaniebla que permita asegurar la estabilización de las plantas en hábitat bajo mejores condiciones de humedad (Pinto 2012, 2014, 2018a y b). En este caso se instalaron 10 mini atrapaniebla de 1 m de alto por 1.10 a 1.50 m de largo dependiendo de la accesibilidad del sustrato, contruidos con largueros y estacas de fierro de 15 mm de grosor, malla raschel de 65 % der sombra y cable a acero forrado de 5 mm de grosor.

Bajo cada uno de los atrapanieblas se plantaron 3 ejemplares de *Eulychnia*, protegidos por rejilla usando malla harnero n° 4 para evitar ser comidas por roedores y una tapa de malla raschel para evitar el picoteo por parte de aves. Cada ejemplar se identificó en tubos pvc conduit de electricidad de 1/2 marcados con lápiz mina numerados correlativamente del 1 al 30, para permitir una correcta identificación durante el posterior seguimiento. A cada ejemplar se midió el alto y ancho del tallo y largo de la raíz, verificando el estado sanitario de esta al momento del plantado.

Las plantas que se introdujeron fueron cultivadas a partir de semillas provenientes de dos ecosistemas de niebla diferentes: 1. de Punta Gruesa colectadas el 07-02-2010 y sembradas el 06-07-2011 y 2. de Chipana colectadas el 29-01-2003 y sembradas el 23-08-2011. Por lo que tienen 7 años de edad y han tenido tres repiques a potes de tamaños progresivos.

6.2. RESULTADOS

En el **Anexo Fotográfico I.III** se muestran algunas de las imágenes tomadas durante la introducción de *Eulychnia* al hábitat.

Los 10 atrapanieblas fueron instalados entre los 800 y 820 m de altitud (**FIG. 5.2**). El proceso de instalación y la localización de los atrapanieblas se muestran en las **FOTOS I.III.1 y 2**. Los 30 ejemplares de *Eulychnia* presentaron un tamaño promedio de 6.8 cm de alto con máximas de 9.0 cm y mínimas de 5.0 cm. El diámetro de tallo varió entre 2.0 y 2.5 cm (**FOTOS I.III. 3 a 5 y TABLA XIV**). Las raíces de las plantas presentaban tamaño similar al tallo o levemente más largas, salvo dos excepciones en que una de las raíces alcanzaba 3 a 4 veces el tamaño del tallo. A estas plantas se les cortó la raíz más larga dejándola a nivel de las otras raíces, permitiendo de esta manera que al plantar las plantas las raíces no queden dobladas.

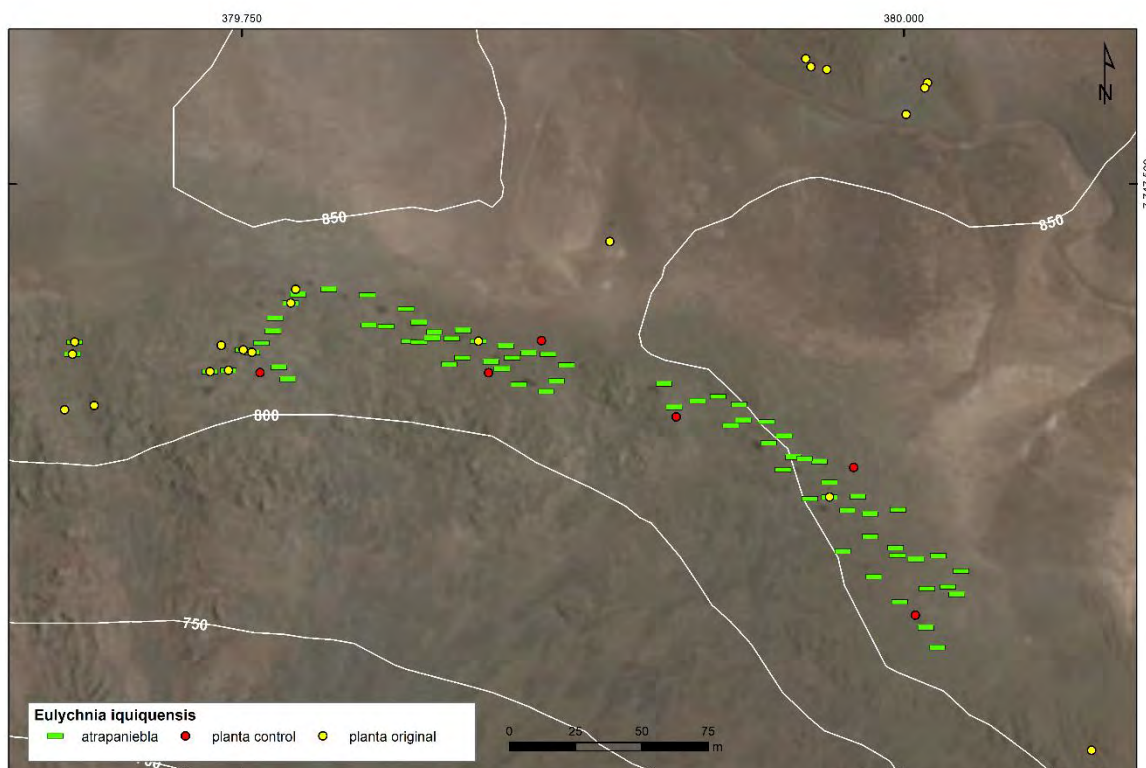


FIG. 5.1. El círculo rojo indica el sector donde se introdujeron los 30 ejemplares de *Eulychnia* como parte de este proyecto. Tomado de Pinto 2018 “Forestación de *Eulychnia iquiquensis*”. Informe de Avance II. Minera Collahuasi.



FIG. 5.2. Distribución de los 10 atrapanieblas instalados en el sector poniente de Punta Gruesa. El área de la introducción de ejemplares de *Eulychnia* corresponde al círculo rojo de la **FIG 5.1**.

TABLA XIV. Antecedentes sobre los 30 ejemplares de *Eulychnia iquiquensis* introducidos en Punta Gruesa el 28 y 29 de abril de 2019. Coordenadas en UTM, Datum WGS 84, Posición 19K.

n° atrapaniebla	Coordenadas UTM		altitud m	n° planta	Alto tallo cm	Diámetro tallo cm	Largo raíz cm	Observaciones
Lat	Long							
1	379602	7747451	818	1	8,0	2,5	10,0	
				2	7,5	2,5	18,0	se corta la raíz a los 10 cm
				3	9,0	2,5	10,0	
2	379690	7747444	815	4	7,0	2,5	12,0	
				5	7,0	2,5	12,0	
				6	7,0	2,5	12,0	
3	379702	7747444	814	7	6,0	2,5	8,0	
				8	6,0	2,5	6,0	
				9	6,0	2,5	6,0	
4	379706	7747440	814	10	7,0	2,5	10,0	
				11	7,0	2,5	7,0	
				12	8,0	2,5	10,0	
5	379711	7747439	816	13	7,5	2,0	7,0	
				14	6,0	2,0	6,0	
				15	5,0	2,0	5,0	
6	379733	7747443	819	16	9,0	2,5	10,0	
				17	8,0	2,5	12,0	
				18	7,0	2,0	9,0	
7	379720	7747441	819	19	6,0	2,0	23,0	se corta la raíz a los 10 cm
				20	6,0	2,0	10,0	raíz de Alstroemeria
				21	5,0	2,0	7,0	
8	379719	7747436	817	22	6,5	2,0	6,5	
				23	7,0	2,0	7,0	bulbo de Oziroe
				24	7,5	2,0	8,5	
9	379727	7747431	811	25	6,0	2,0	5,0	
				26	5,0	2,0	6,0	
				27	5,0	2,0	7,0	restos de tronco leñoso
10	379707	7747426	807	28	8,0	2,5	9,0	
				29	7,0	2,5	12,0	
				30	8,0	2,5	8,0	Ephedra muerta

FLORA Y FAUNA ASOCIADA

Durante el proceso del plantado de los ejemplares de *Eulychnia* se registró presencia de restos de rizomas de *Alstroemeria violacea* y bulbos de *Oziroe biflora* ambas especies herbáceas perennes previamente registradas por R. Pinto en este ecosistema de niebla (**FOTO I.III.6**) (Muñoz et al, 2001 y Pinto & Luebert, 2009). *A. violacea* es una especie muy escasa en el sector con una población de menos de 20 ejemplares vivos.

Bulbosas y rizomatosas son afectadas intensamente por efecto de la herbivoría por parte de roedores nativos del sector, principalmente en los años siguientes de un evento Niño. Junto a ello esta especie de alto valor ornamental podría verse afectada por el saqueo por parte de comerciantes de flora nativa. *A. violacea* debería estar catalogada como En Peligro al menos para las poblaciones del extremo norte de Chile, ya que se encuentra en sólo dos ecosistemas de niebla: Punta Gruesa en Iquique y Camaraca en Arica. Amerita además que se desarrollen programas de propagación de esta especie.

Por otra parte, en relación a presencia de especies perennes sólo se registraron restos de troncos leñosos (**FOTO I.III.7**).

En relación a la fauna, el día 28 de abril 2019 durante la introducción de ejemplares de *Eulychnia* se avistó una pareja de aguilucho (**FOTO I.III.8**).

7. BIBLIOGRAFÍA

Publicaciones:

- Muñoz M., R. Pinto, A. Mesa & A. Moreira, 2001. "Oasis de neblina" en los cerros costeros del sur de Iquique (norte de Chile) durante el evento El Niño 1997-98: diversidad y relaciones florísticas. *Revista Chilena de Historia Natural* Vol 74: 2:389-405.
- Pinto R. 2007. Estado de conservación de *Eulychnia iquiquensis* (Schumann) Britton et Rose (Cactaceae) en el extremo norte de Chile. *Gayana Botánica* 64(1):97-108. FIG. 1, 2, 3 y 4.
- Pinto R. & F. Luebert, 2009. Datos sobre la Flora Vascular del Desierto Costero de Arica y Tarapacá, Chile y sus Relaciones Fitogeográficas con el Sur de Perú. *Gayana Botánica*. 66(1):29-50.
- Pinto R., 2014. *Eulychnia iquiquensis* (Schumann) Britton & Rose: Uso de atrapanieblas para la restauración y recuperación de poblaciones en peligro en el extremo norte de Chile. *Chloris Chilensis* Año 17. Nº 2. URL: <http://www.chlorischile.cl>

Libros:

- Hoffmann, A.E. & Walter, H. 2004. Cactáceas. En la flora silvestre de Chile. Segunda Edición. Ediciones Fundación Claudio Gay, Santiago.
- Pinto R. & A. Kirberg, 2009. Cactus del extremo norte de Chile. Impreso en Chile, AMF, Santiago, 246 pp.

Informes:

- Pinto, R. 2007. Relevamiento de la Flora de la Reserva Nacional La Chimba. CONAF II Región, 53 pp.
- Pinto, R. 2010. Estudio de la flora costera durante el evento El Niño 2009, región de Tarapacá. CONAMA, 51 pp.
- Pinto, R. 2012. Propuesta de desarrollo estratégico de recuperación de poblaciones de las tres grandes Cactáceas Columnares de Tarapacá. Proyecto N° 026-2010 del Fondo de Investigación del Bosque Nativo, CONAF. Informe Final, 85 pp.

- Fuentes, F. 2012. Clasificación de cactáceas de Tarapacá: Aproximación combinada de actualización de estado de conservación y uso de herramientas genético-moleculares. Proyecto N° 044-2010 del Fondo de Investigación del Bosque Nativo, CONAF. Informe Final 26 pp.
- CSW Consultores Ambientales. 2012. Sistema de Información Geográfica de Especies Clasificadas y en Proceso de Clasificación. Ministerio de Energía.
- CULTAN 2013. Plan de Manejo del Parque Nacional Morro Moreno. Solicitado por CONAF, Antofagasta. Punto 2 del Documento B sobre Unidades Homogéneas de Comunidad Vegetal. Bosque de *Eulychnia iquiquensis* realizado por R. Pinto.
- Lira, F. 2014. Diagnóstico del Sistema de Clasificación de Especies como Instrumento para la Protección de las Cactaceas Nativas en Chile. Tesis Universidad de Chile.
- Pinto, R. 2016-2023 (en ejecución). Recuperación de Poblaciones de Cactaceas de Tarapacá: Forestación de *Eulychnia iquiquensis* en Punta Gruesa, Iquique, Tarapacá. Informe I-2016a (18 pp), Informe II-2018a (18 pp). Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.
- Pinto, R. 2016-2023 (en ejecución). Plan Alternativo de Mitigación de Flora y Vegetación Quebrada El Diablo, Michilla, Antofagasta. Introducción de Ejemplares de *Eulychnia iquiquensis*. Informe I-dic 2016b (34 pp), Informe II-abril 2017 (29 pp), Informe III-oct 2017 (28 pp), Informe IV- abril 2018b (22 pp), Informe V-oct 2018b (25 pp), Informe VI- abril 2019 (20 pp). Minera Centinela.
- BIOTA Consultores-CONAF. 2018. Actualización del Catastro de los Recursos Vegetacionales de la Región de Tarapacá.

Fichas de Clasificación de Especies:

Ficha de antecedentes de especies: *Eulychnia iquiquensis*. MMA Id especie: 115. 2006.

IUCN Red List of Threatened Species. 2017. Cáceres, F., Saldivia, P., Guerrero, P., Walter, H.E. & Faundez, L. 2017. *Eulychnia iquiquensis* (amended version of 2013 assessment).

A demás se considerarán los antecedentes antiguos de esta especie que aparecen en los trabajos de:

Britton, n. L. & j. N. Rose. 1919. The Cactaceae. Description and Illustrations of plants of the Cactus Family. Third Ed. Dover Publication, New York. Vol I-II:241 pp. Vol II:318 pp.

Johnston, I.M. 1929b. The flora of the Nitrate Coast. Contribution from the Gray Herbarium of Harvard University 85: 138-163.

Reiche, K. 1907. Grundzüge der Pflanzenverbreitung in Chile. Die Vegetation der Erde 8: 1-394.

Ritter, F. 1980. Kakteen in Südamerika. Band 3. Chile. Spangenberg.

ANEXO I

FOTOGRAFICO

I.I

CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES DE *Eulychnia iquiquensis*

ORTOFOTOS

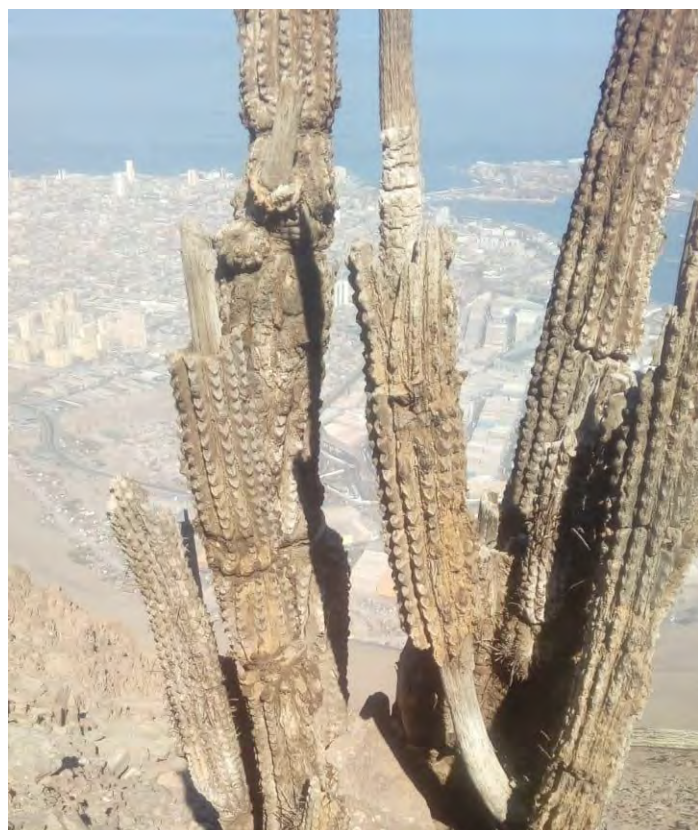
IQUIQUE: 26 marzo 2019. Sector Cerro Esmeralda. Población extinta.



FOTO I.I.1. En este ecosistema solo se registraron ejemplares muertos. A simple vista no se ven los cactus. En círculo rojo Roberto bajando a georeferenciar las plantas (Cuadrante 1).



FOTO 1.1.2. A. Farellón rocoso sobre la Zofri, sector de mayor densidad de *Eulychnia*. **B.** Acercamiento del área del círculo rojo, donde se observan 20 ejemplares (Cuadrante 2).



A



B



C

FOTO I.I.3. A. Aspecto en que se encuentran las plantas. B. Cuatro ejemplares en sector de escurrimientos en fondo de cañada. C. Grupo de cinco ejemplares juveniles en un sector de rodado.



FOTO I.I.4. Sector de ladera de exposición sur donde se observan 10 ejemplares (Cuadrante 3).



FOTO I.I.5. Se registraron varios troncos con signos de haber sido talados, indicios que *Eulychnia* fue utilizada como combustible, tal como lo describen Britton & Rose en 1904 en los cerros de Iquique.



A



B

FOTO I.I.6. A. En los altos del Cerro Esmeralda en los terrenos de la Fuerza Aérea de Chile. Avelino controlando el recorrido del dron. **B.** El cuadrado azul en la pantalla corresponde al área que el dron está realizando las tomas de fotografías secuenciales.

CHIPANA NORTE: 2 febrero 2019. Sector Mina Chipana.

CHIPANA NORTE, CUADRANTE 1:



FOTO I.I.7. Al borde del acantilado se aprecia gran cantidad de ejemplares de *Eulychnia* en buen estado los adultos con frutos y presencia de juveniles.



FOTO I.I.8. Cercano al borde del acantilado se registraron varios ejemplares de *Eulychnia* con frutos tanto en el cactus mismo como en el suelo y dos flores abiertas.



FOTO I.I.9. A. *E. iquiquensis* de 6.60 m de alto. **B.** Efecto planta nodriza con presencia de vegetación viva cercana al tronco de *Eulychnia*: dos ejemplares de *Frankenia chilensis* y 1 ejemplar de *Nolana sedifolia*.



FOTO I.I.10. Hacia el interior los ejemplares se encuentran en peor estado de conservación. **A.** Se observan 5 ejemplares muertos en pie, dos muertos en el suelo y un ejemplar vivo de 1 m de alto **(B)** cuyo tronco presenta dos escotaduras, indicando dos períodos largos de sequía. **C.** Mismo grupo de ejemplares visto desde otro ángulo.



FOTO I.I.11. Ejemplares muertos botados en el suelo se distinguen fácilmente en la ortofoto.



FOTO I.I.12. Desde la cima más alta Avelino Muñoz monitorea el recorrido que está haciendo el Dron.

CHIPANA NORTE, CUADRANTE 2:



FOTO I.I.13. Al borde del acantilado (800 m altitud) un ejemplar de *E. iquiquensis* de 1.50 m de alto con 5 frutos en diferentes grados de maduración. Cercano a la base del cactus se observa también un ejemplar de *Frankenia chilensis* y *Nolana sedifolia*.



FOTO I.I.14. Juvenil de 18 cm de alto muerto a 50 cm de la planta madre. Estos tamaños claramente no es posible detectarlos en las ortofotos.



FOTO I.I.15. Se registraron tres ejemplares juveniles en una grieta, los dos más pequeños estaban muertos y el de 40 cm de alto estaba vivo pero en muy mal estado de vigor. No es raro encontrar dos ejemplares adultos muy cercanos entre ellos uno vivo y el otro muerto.



FOTO I.I.16. Restos de troncos pequeños de *Eulychnia* muertos que no es posible detectarlos en la ortofoto.



FOTO I.I.17. Dos ejemplares vivos de 4 m de alto, separados entre ellos por 4 m de distancia en ladera de exposición noreste.



FOTO I.I.18. Hacia el interior se observa mayor mortandad. Ejemplar inclinado con su eje central cortado que ha logrado formar 3 nuevas ramas. En el suelo se observa la rama caída.

CHIPANA CENTRO: 8 diciembre 2018

CHIPANA CENTRO, CUADRANTE 1:



FOTO I.I.19. Ladera interior de exposición sur. Se observan 18 ejemplares muertos y 3 vivos en los altos hacia el poniente (86 % de mortandad).



FOTO I.I.20. En el fondo de la quebrada se observan 4 ejemplares vivos (0 % de mortandad).



A



B

FOTO I.I.21. A. Presencia de *Eriosyce iquiquensis*. Esta especie por ser muy escasa y apetecida por comerciantes debería estar catalogada como En Peligro. **B.** Se observa intervención humana donde una roca en forma de triángulo fue sacada para llevarse las plantas. Flecha roja indican 3 ejemplares creciendo entre las grietas de las rocas.

CHIPANA CENTRO, CUADRANTE 2:



FOTO I.I.22. Vista amplia al oriente. El cuadrante abarca ambas laderas de exposición norte y de exposición sur y fondo de quebrada.



FOTO I.I.23. En el fondo de la quebrada se observan 3 ejemplares adultos muertos, 1 de ellos en el suelo y 6 ejemplares vivos (33 % de mortandad). Los ejemplares vivos corresponden a una misma temporada de germinación, tienen en promedio 1.60 m de alto, todos ellos en excelente estado muy vigorosos (ver FOTO I.I.24)



FOTO I.I.24. Ejemplar juvenil muy vigoroso, en afloramiento rocoso en el fondo de la quebrada.



FOTO I.I.25. Presencia de *Cumulopuntia sphaerica*.

CHIPANA SUR: 23 febrero 2019. Sector Mina Paiquina.



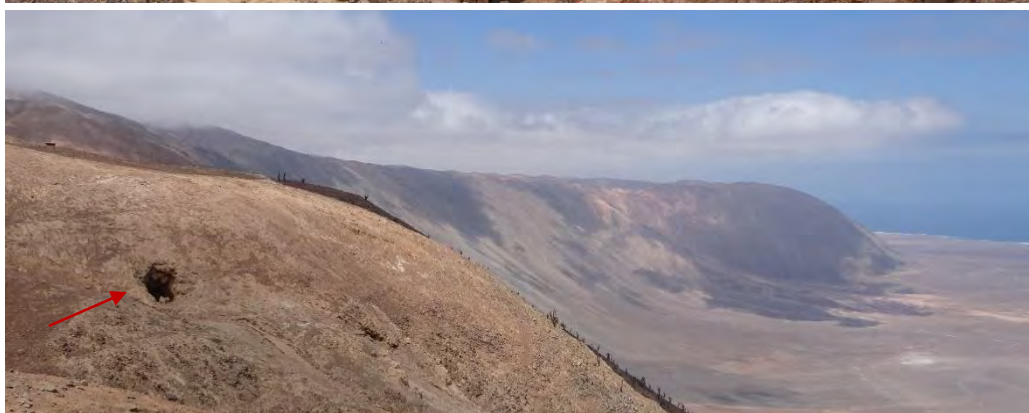
FOTO I.I.26. Sobre el acantilado la niebla penetra por los fondos de pequeñas quebradas, que es donde actualmente es posible encontrar el mayor número de ejemplares vivos de *Eulychnia*.



FOTO I.I.27. En este sector *Eulychnia iquiquensis* comparte el hábitat con *Tillandsia landbeckii*, entre 300 y 700 m de distancia del borde del acantilado.



A



B



C

FOTO I.I.28. A. Sector Mina Paiquina. Actualmente existen muy pocos ejemplares de *Eulychnia* en los alrededores de la mina, lo que indica que probablemente ésta fue utilizada como combustible. B. Presencia de varios piques mineros al borde del acantilado. En los alrededores de estos piques no hay presencia de *Eulychnia*. C. Bodega de almacenaje, actividad minera de los últimos 50 años.



A



B

FOTO I.I.29. En el acantilado se observa gran densidad, pero con un 79% de mortandad. **A.** Cuadrante 1 y **B.** Cuadrante 2.



FOTO I.I.30. En la foto se observa un ejemplar juvenil vivo de 15 cm de alto en una grieta con 20 ejemplares adultos muertos. Juveniles tan pequeños no es posible detectarlos en la ortofoto.



FOTO I.I.31. Al fondo el cuadrante 3 sobre el acantilado, alejándose del sector de mina Paiquina hacia el norte se observa mayor densidad de *Eulychnia*. Se registró un 64% de mortandad.



FOTO I.I.32. Muchos ejemplares de *Eulychnia* se encuentran en estado muy débil. Sin epidermis verde fotosintética, sin espinas, ápices pasmados con varios intentos de rebrote.



FOTO I.I.33. Presencia de antiguo bosteadero de guanacos.

LOA NORTE: 14 abril 2019.



FOTO I.I.34. Caminando al amanecer por las cimas de los cerros hacia el bosque de *Eulychnia* por 3.5 km desde donde es posible acceder en vehículo hasta llegar a los primeros ejemplares y poder volar el dron antes que empiece el viento al medio día. En la cima se observan tres hundimientos típicos de antiguos baños de guanacos.



FOTO I.I.35. Los primeros ejemplares que aparecen se distribuyen en los fondos de cañadas y están todos muertos **(A)**. A medida que avanzamos hacia el acantilado la densidad aumenta **(B)**.

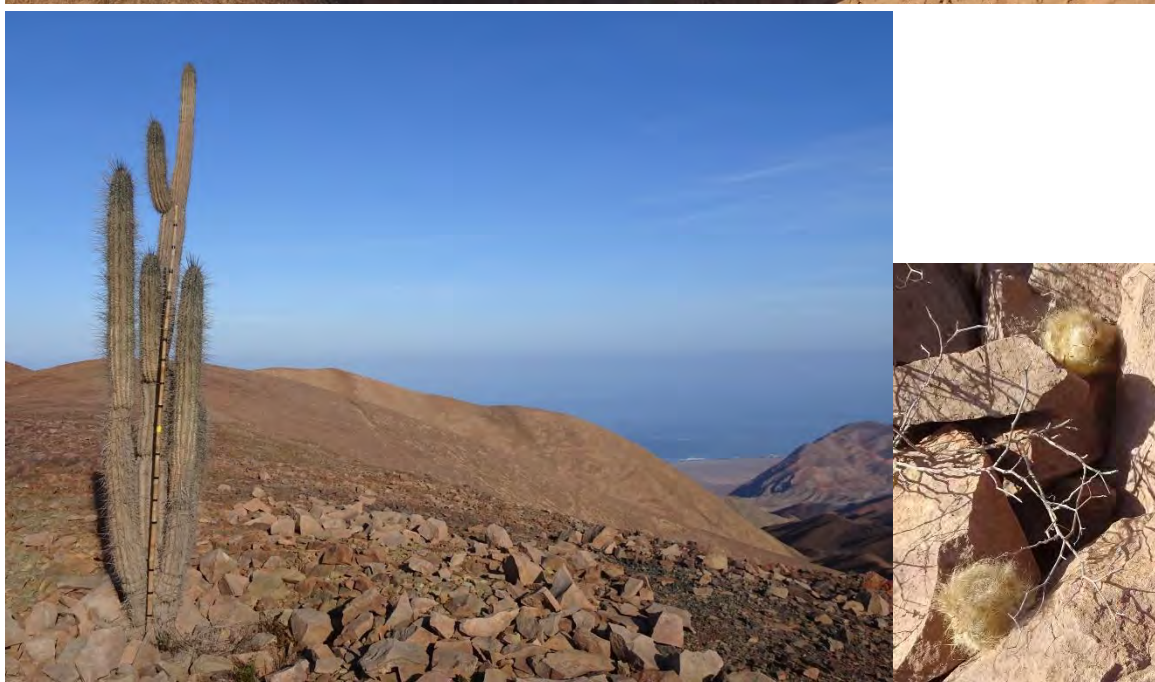
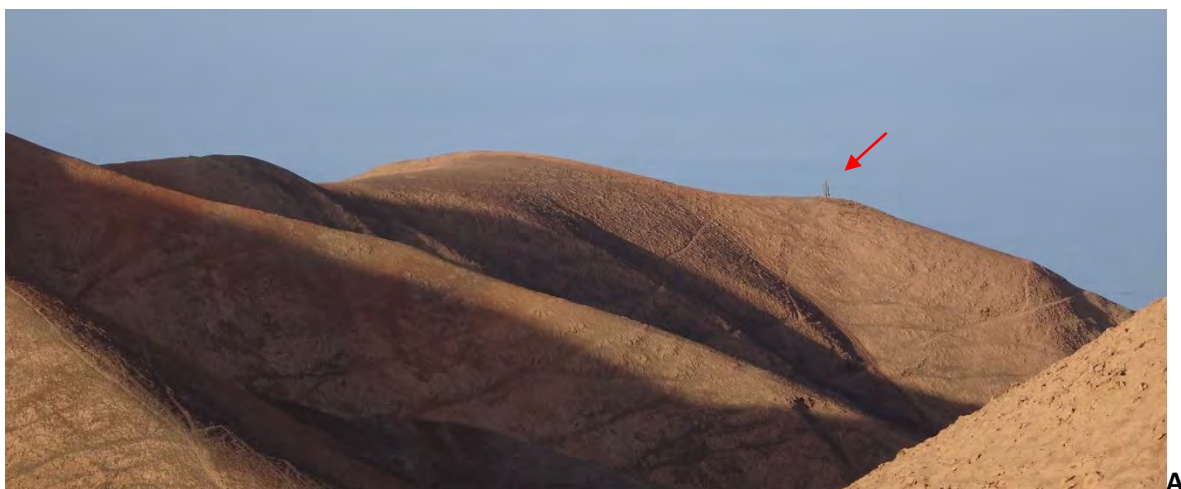


FOTO I.I.36. Los primeros ejemplares vivos se observan en los filos de los altos de las cadenas de cerros **(A)**. Ejemplar vivo solitario de 2.70 m de alto en un afloramiento rocoso. Este fue uno de los pocos ejemplares que se registró con producción de flores del 2018. Flores abortadas en el suelo que indica ausencia de polinizadores **(B)**.



FOTO I.I.37. Se observan 5 ejemplares de *Eulychnia* y numerosos senderos de pastoreo de guanacos, lo que indica que este sector fue muy vegetado en el pasado.



FOTO I.I.38. Área del cuadrante 2. Al fondo se observa la desembocadura de río Loa y las instalaciones de la aduana.

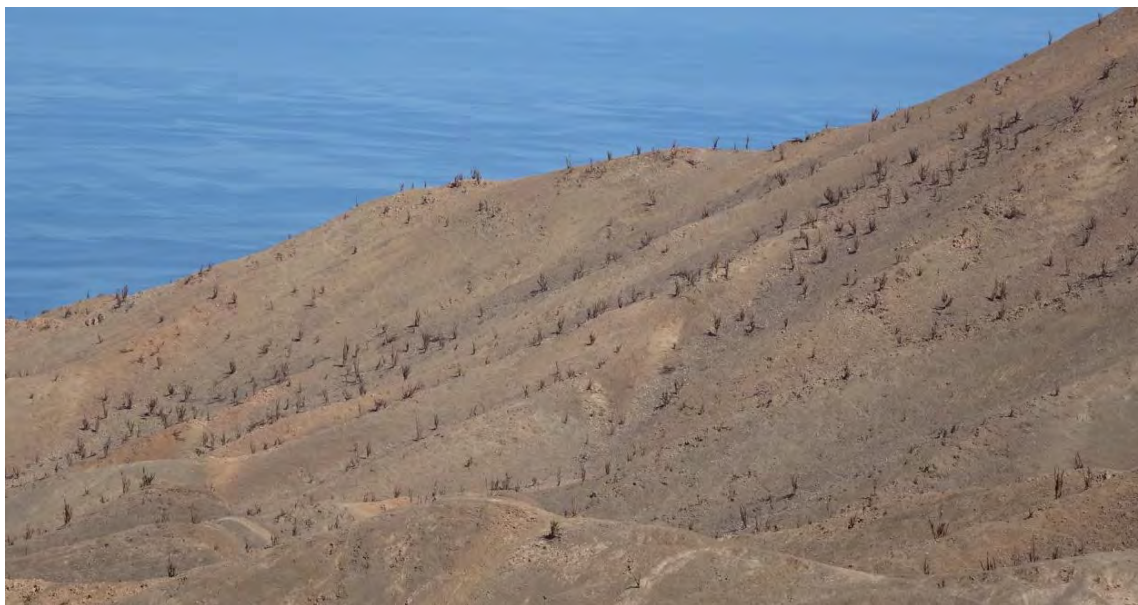


FOTO I.I.39. Área del cuadrante 3 cercano al borde del acantilado.

LOA SUR: 24 febrero 2019.



FOTO I.I.40. Caminando al atardecer por la cima de los cordones de cerros **(A)** para llegar a acampar cerca del bosque de *Eulychnia* **(B)** y lograr estar temprano al día siguiente en el lugar para volar el dron. Al fondo se observa el cañón de río Loa **(C)**.



FOTO I.I.41. Se observan 6 ejemplares de *Eulychnia* muertos y numerosos senderos de guanacos, lo que indica que este sector fue muy vegetado en el pasado. 1.6 km desde el borde superior del acantilado hacia el interior.



FOTO I.I.42. Los primeros ejemplares vivos se observan en los filos de los altos de las cadenas de cerros. Al fondo en el círculo rojo se encuentra Avelino preparando el despegue del dron. Ejemplar vivo solitario de 3 m de alto en un afloramiento rocoso, registrado como vigoroso, a pesar de tener la rama central muerta y signos de mordeduras de guanaco (flecha roja). Una flor del 2018 abortada en el suelo. Diferente grado de impermeabilización de la epidermis desde la base hacia el ápice.



FOTO I.I.43. Vista del cuadrante 2. 98% de mortandad. La mayor densidad de *Eulychnia* se distribuye en el gran paño de tonalita, roca ígnea intrusiva compuesta de cuarzo, plagioclasa y biotita corresponde al paño de tonalidad blanquisca amarillento.



FOTO I.I.44. Fondo de cañada: 15 ejemplares muertos, 2 vivos (88 % de mortandad).



FOTO I.I.45. Fondo de quebrada: 16 ejemplares muertos, 3 vivos (84 % de mortandad).



FOTO I.I.46. Fondo de cañada con roca fragmentada y vegetación herbacea, 30 *Eulychnia* muertas, ningún ejemplar vivo (100 % de mortandad).



FOTO I.I.47. Vista del cuadrante 3.



FOTO I.I.48. Sectores de fondos de cañadas de orientación sur, sur-oeste con sustrato de roca fragmentada presentaban restos de vegetación.



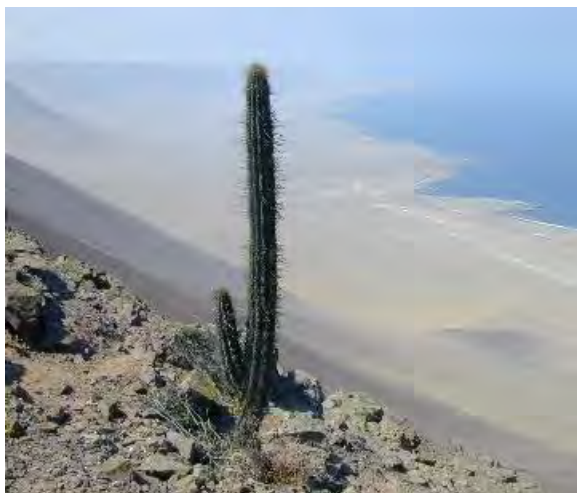
FOTO I.I.49. Muestras de herbario de algunas especies registradas en el sector del cuadrante 2 de Loa Sur: *Nolana villosa*, *Nolana sedifolia*, *Atriplex taltalensis*, *Tetragonia angustifolia*, *Frankenia chilensis*, *Nolana patanchensis*, *Cistanthe celosioides*, *Cristaria virideoluteola* y *Alstroemeria* sp.

I.II

SEGUIMIENTO COMPARATIVO DEL CRECIMIENTO DE *Eulychnia iquiquensis*

PUNTA GRUESA

Sector de forestación de *Eulychnia*



Planta n°1, Febrero 2003, 1.60 m de alto

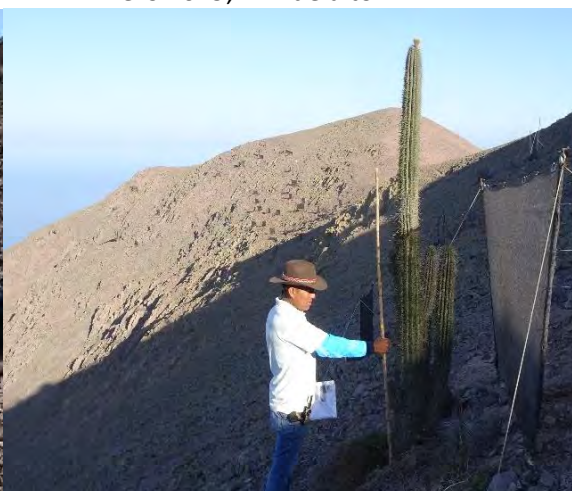


Enero 2019, 2 m de alto

A



Planta n°2, Febrero 2003, 1.40 m de alto



Enero 2019, 2.80 m alto

B

FOTO I.II.1. A. Ejemplar sin atrapaniebla en 15 años creció 40 cm de alto. **B.** A este ejemplar se le instaló atrapaniebla en abril de 2011, en 8 años creció 117 cm de alto y formó 6 nuevas ramas.



Planta 4, Febrero 2003, 2.40 m de alto.



Diciembre 2003



Enero 2019, 2.97 m de alto

FOTO I.II.2. A este ejemplar se le instaló un atrapaniebla en diciembre 2003, con el fin de obtener semillas. En 15 años creció 57 cm de alto, formando nuevas ramas y engrosando sus tallos.



Planta n°3, Noviembre 2002, 1.60 m de alto

Enero 2019, 2.14 m de alto

FOTO I.II.3. En 15 años creció 54 cm de alto, sin embargo aún no forma nuevas ramas.



Planta n°11, Agosto 2002, 4 m de alto



Enero 2019, 4.40 m de alto



Agosto 2002

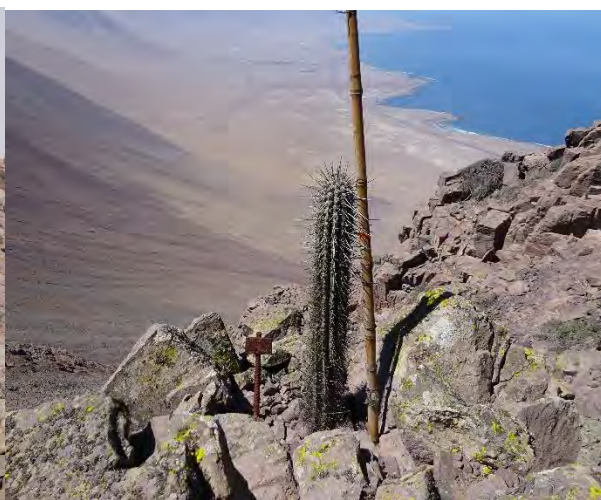


Enero 2019

FOTO I.II.4. A este ejemplar se le instaló un atrapaniebla en mayo 2011. En 15 años creció 40 cm de alto, formando nuevas ramas y engrosando sus tallos.



Planta n° 8, Julio 2007, 0.38 m de alto



Marzo 2019, 0.60 m de alto

FOTO I.II.5. En 15 años creció 22 cm de alto.



Planta n° 7, Agosto 2002, 4.30 m de alto



Marzo 2019, 3.37 m de alto

FOTO I.II.6. Este ejemplar presenta decrecimiento en alto debido a que se le cortó la rama mayor el 2016. Es por esto que en el análisis comparativo solo se consideraron plantas < 2 m de alto.



Planta n° 7a, Septiembre 2011, 12 cm de alto



Marzo 2019, 21 cm de alto

FOTO I.II.7. En 15 años creció 16 cm de alto. No sabemos si este ejemplar corresponde a una germinación de semilla o a un brote desde la raíz de la planta madre.



Febrero 2003, 700 m alt, 0.92 m de alto

Enero 2019, 1.8 m de alto



Agosto 2002, 600 m alt, 1.60 m de alto

Enero 2019, 2.00 m de alto

FOTO I.II.8. Dos ejemplares vivos bajo el sector de forestación. En 16 años crecieron: **A.** 88 cm de alto y aún no forma nuevas ramas. **B.** 33 cm de alto y 10 nuevas ramas.

Ladera interior



Planta n°41, Febrero 2003, 5.20 m de alto

Enero 2019, 5 m de alto

FOTO I.II.9. Esta es la planta más alta registrada en Punta Gruesa. Nótese la escotadura que presenta la rama mayor la que se quebró con la tormenta de viento de julio 2016.



Agosto 2002

Febrero 2003

Julio 2007

Sept 2011

Enero 2019

FOTO I.II.10. Seguimiento fotográfico de la planta n° 40. En agosto 2002 tenía 1.75 m de alto, en enero 2019 alcanzó 2.36 m de alto, planta que aún no produce flores. En 16 años ha crecido 61 cm de alto.



Planta n° 39, Agosto 2002, 0.65 cm de alto



Enero 2019, 1.07 m de alto

FOTO I.II.11. En 16 años creció 42 cm de alto y recién formó la primera rama (círculo rojo)



Planta n° 42, Febrero 2003, 4.40 m de alto Enero 2019, 5.10 m de alto
FOTO I.II.12. En 16 años creció 62 cm de alto. El eje mayor ya se está empezando a inclinar. Al próximo temporal de viento esta rama se cortará.



Planta n° 44, Febrero 2003, 0.62 m de alto Enero 2019, 0.90 m de alto
FOTO I.II.13. En 16 años creció 28 cm de alto, aún no comienza a ramificarse.



Planta n° 38, Agosto 2002, 4.40 m de alto

Enero 2019, 3.75 m de alto



FOTO I.II.14. La rama mayor que ya se encontraba inclinada el 2002, se cortó producto de la tormenta de viento del 2016. A dos años del corte ha producido 4 nuevos brotes de 0.5 a 4 cm de alto.

Fondo de cañada



Marzo 2003, **A.** viva débil de 0.46 m de alto. **B.** viva débil de 1.10 m de alto



Enero 2019, **A.** muerta de 0.42 m de alto. **B.** viva de 0.70 m de alto.

FOTO I.II.15. La Planta **A** murió y la planta **B** se cortó en dos pedazos, por la tormenta de viento de julio 2016. En dos años ha formado dos nuevos brotes de 1 y 2 cm de alto. Extremo sur del ecosistema de niebla, sector arenoso: dos de los tres grandes ejemplares que se encontraban vivos, murieron.



Marzo 2003, 840 m altitud, 4.20 m de alto.



A

Mayo 2019, ejemplar muerto, 3.70 m de alto



Marzo 2003, 820 m altitud, 4.50 m de alto
Ephedra breana viva



B

Mayo 2019, ejemplar muerto, 3.60 m de alto
Ephedra breana muerta

FOTO I.II.16. Estas dos plantas murieron. El 2015 estaban vivas.



Marzo 2003, 810 m altitud, 4.40 m alto



Mayo 2019, 4.20 m de alto

FOTO I.II.17. Este es el único ejemplar que queda vivo en el sector su estado es débil, se observa como las ramas han comenzado a inclinarse, reflejándose en el decrecimiento de la planta en alto.

PATACHE

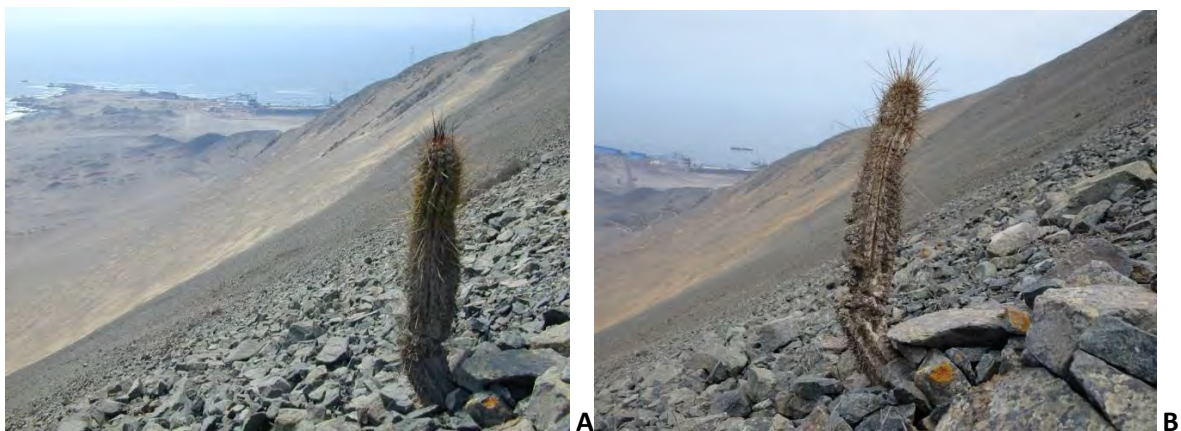


FOTO I.II.18. Juvenil **A.** Ejemplar vivo de 0.40 m de alto, 560 m altitud, febrero 2003. **B.** El mismo ejemplar muerto de 0.40 m de alto, enero 2019. Se observa como las rocas lo arrastraron probablemente producto de alguno de los movimientos telúricos que han ocurrido en esta zona costera (2005, 2007, 2014).



FOTO I.II.19. **A.** Ejemplar de 1.95 m de alto, 710 m altitud, febrero 2003. **B.** El mismo ejemplar de 2.70 m de alto, enero 2019. **C.** El año 2004 a este ejemplar se le instaló un atrapaniebla y estuvo dos años con este aporte de humedad. Este ejemplar creció 75 cm en 16 años. La rama marcada creció 25 cm en 16 años. Bajo él creció un *Solanum brachyanterum*.



Noviembre 2001, 740 m altitud



Enero 2019



Noviembre 2001. 780 m altitud



Enero 2019

FOTO I.II.20. Estos dos ejemplares que enfrentan al Puerto de Patache se han mantenidos practicamente iguales en tamaño en un lapzo de 17 años. Si se nota un aspecto más deteriorado lo que se refleja en los ápices de las ramas pasmados sin signos de crecimiento alguno desde hace ya varios años (**FOTO I.II.21**).



A



B



C

FOTO I.II.21. A. Ápices pasmados. B. Rama marcada totalmente cubierta de líquenes lo que indica que no ha habido crecimiento. C. Rama cubierta de líquenes salvo la parte apical indicando crecimiento y que aún no ha sido epifitado por líquenes, ápice con espinas nuevas.



FOTO I.II.22. A. Ejemplar de 4 m de alto, 750 m altitud, junio 2011. **B.** Mismo ejemplar de 2.70 m de alto, enero 2019. A esta planta se le cortó el eje central con la tormenta de viento y arena de julio 2016. Las ramas crecieron en promedio 30 cm en 16 años, medidas desde octubre 2002.



FOTO I.II.23. A. Ejemplar de 3.50 m de alto, 730 m altitud, octubre 2002, la foto es de febrero 2003. **B.** El mismo ejemplar de 4.00 m de alto, enero 2019. Creció 50 cm en 16 años.



FOTO I.II.24. Ejemplar de 22 cm de alto, enero 2019. Este ejemplar fue introducido en mayo 2012. Es el único ejemplar juvenil que se encuentra en este sitio. Se encuentra en buenas condiciones. Ha crecido 10.5 cm en 7 años. Esto demuestra que la repoblación de esta especie es factible.

PUNTA LOBOS



FOTO I.II.25. A. Ejemplar de 0.40 m de alto, 860 m altitud, octubre 2001. B. El mismo ejemplar de 0.70 m de alto medido en enero 2019. Creció 30 cm en 17 años.



FOTO I.II.26. FOTO 18. A. Un ejemplar con dos ramas basales de 1.35 m de alto y un ejemplar de 0.45 m de alto, 860 m altitud, octubre 2001. B. Los mismos ejemplares de 1.95 m y 1.10 m de alto medidos en enero 2019. Crecieron 60 cm en 17 años. El pequeño formó un nuevo brote.

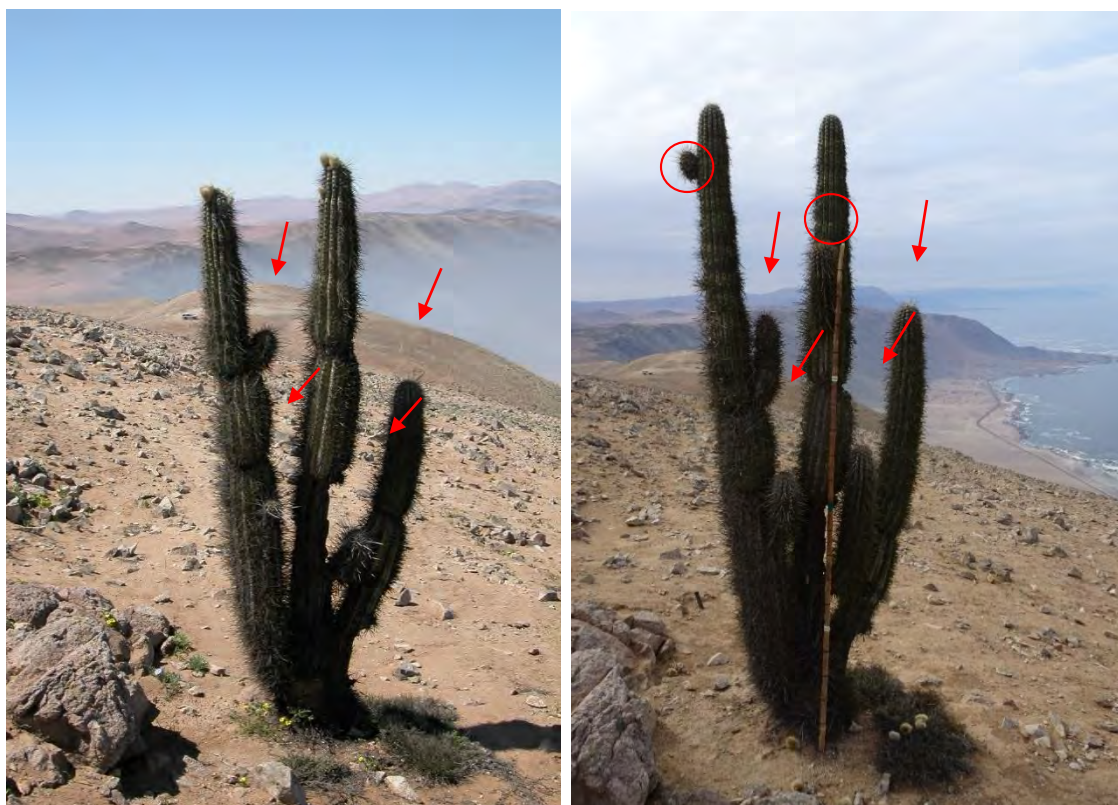


FOTO I.II.27. A. Ejemplar de 2.10 m de alto, 780 m altitud, septiembre 2002. Ejemplar reproductivo con seis botones. **B.** El mismo ejemplar de 2.50 m de alto, enero 2019. Creció 40 cm en 16 años, 2.5 cm anuales. Sus ramas crecieron entre 10 y 45 cm según el tamaño de estas, a mayor tamaño mayor es el crecimiento (flechas rojas). Además de formar dos nuevas ramas (círculos rojos). Bajo el cactus se encuentra un ejemplar vivo de *Ephedra breana* (pingo pingo).

I.III

INTRODUCCIÓN DE *Eulychnia iquiquensis* EN PUNTA GRUESA



FOTO I.III.1. Instalación de atrapanieblas. **A.** Largueros y tensores. **B.** Amarre de la malla raschel.



FOTO I.III.2. A. Localización de los atrapanieblas n° 1, 2, 3, 4, y 10. **B.** Localización de los atrapanieblas n° 6, 7, 8 y 9.



FOTO I.III.3. A. Los ejemplares fueron trasladados desde el vivero en lotes de 10 envueltos en papel de diario. **B.** Los ejemplares que presentaban una raíz notoriamente más larga que las demás se cortó al largo de las otras. Esto con el fin de impedir que la raíz quede doblada.



A



B

FOTO I.III.4. Tanto tallo como raíces de los ejemplares se encontraban en buen estado sanitario con aspecto de plantas de vivero, esto es epidermis verde y espinas pequeñas y delgadas. **A.** *Eulychnia* forma una a tres raíces gruesas pivotantes. **B.** Cuando las plantas se adapten al hábitat fortalecerán las espinas y cambiará el color de la epidermis a verde oscuro grisáceo.



A



B

FOTO I.III.5. A. Se plantaron 3 ejemplares por atrapaniebla, debidamente numerados. **B.** Cada ejemplar quedó protegido por rejilla afirmada con rocas.

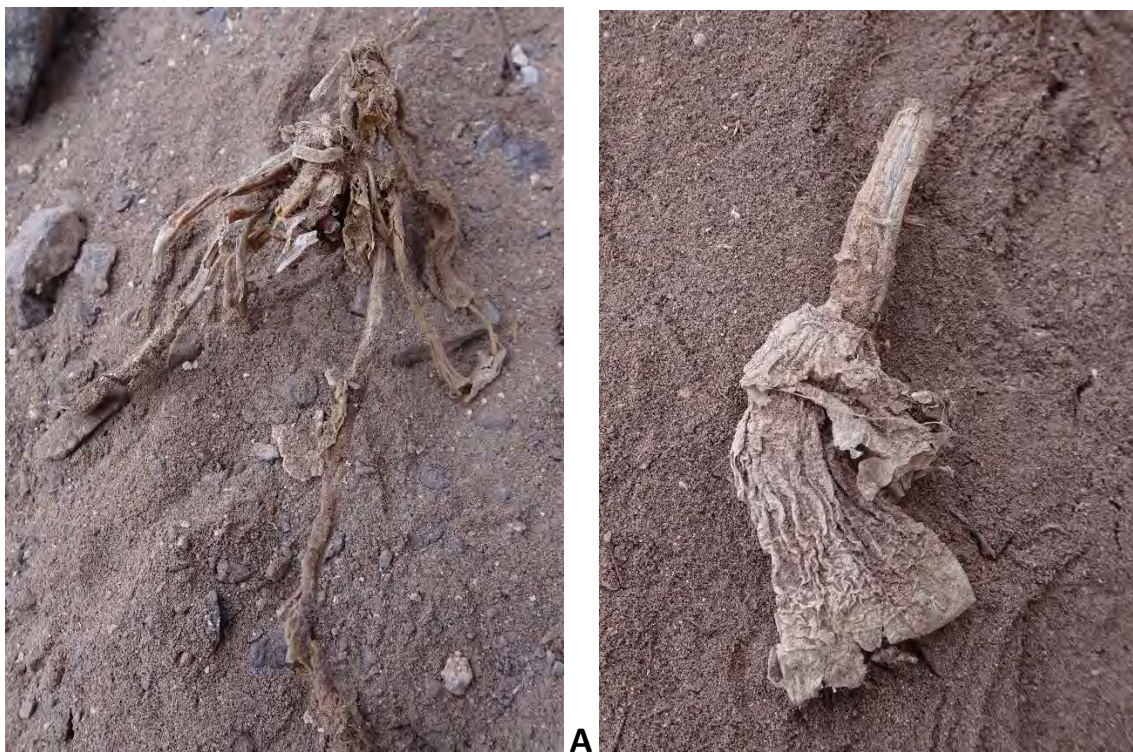


FOTO I.III.6. Registro de restos de especies herbáceas perennes. **A.** Rizoma de *Alstroemeria violacea* donde quedó la planta n° 20. **B.** Bulbo de *Oziroe biflora* donde quedó la planta n° 23.

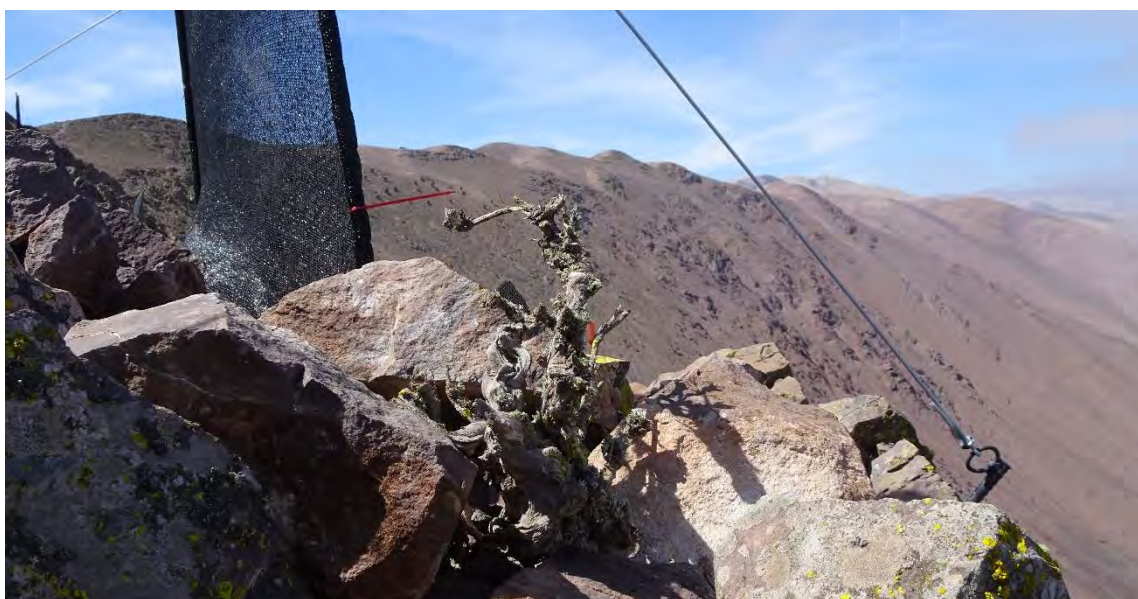


FOTO I.III.7. Registro de restos de especies arbustivas perennes. Este tronco corresponde a un ejemplar de *Ephedra breana*.



FOTO I.III.8. Primer avistamiento de una pareja de aguiluchos *Geranoaetus polysoma* en el sector de la forestación. Se ha visto a esta especie en solitario rondar por el sector de los atrapanieblas en enero del 2013 y en febrero del 2018 se observó comiendo frutos de *Eulychnia*.

ANEXO II
ORTOFOTOS



FIG. 1. Localización de los cuadrantes 1, 2 y 3 en el acantilado costero en sector de Cerro Esmeralda, Iquique al frente de las instalaciones de Zofri, entre los 450 y 800 m de altitud. La flecha roja indica ubicación del radar de la Fuerza Aérea de Chile.

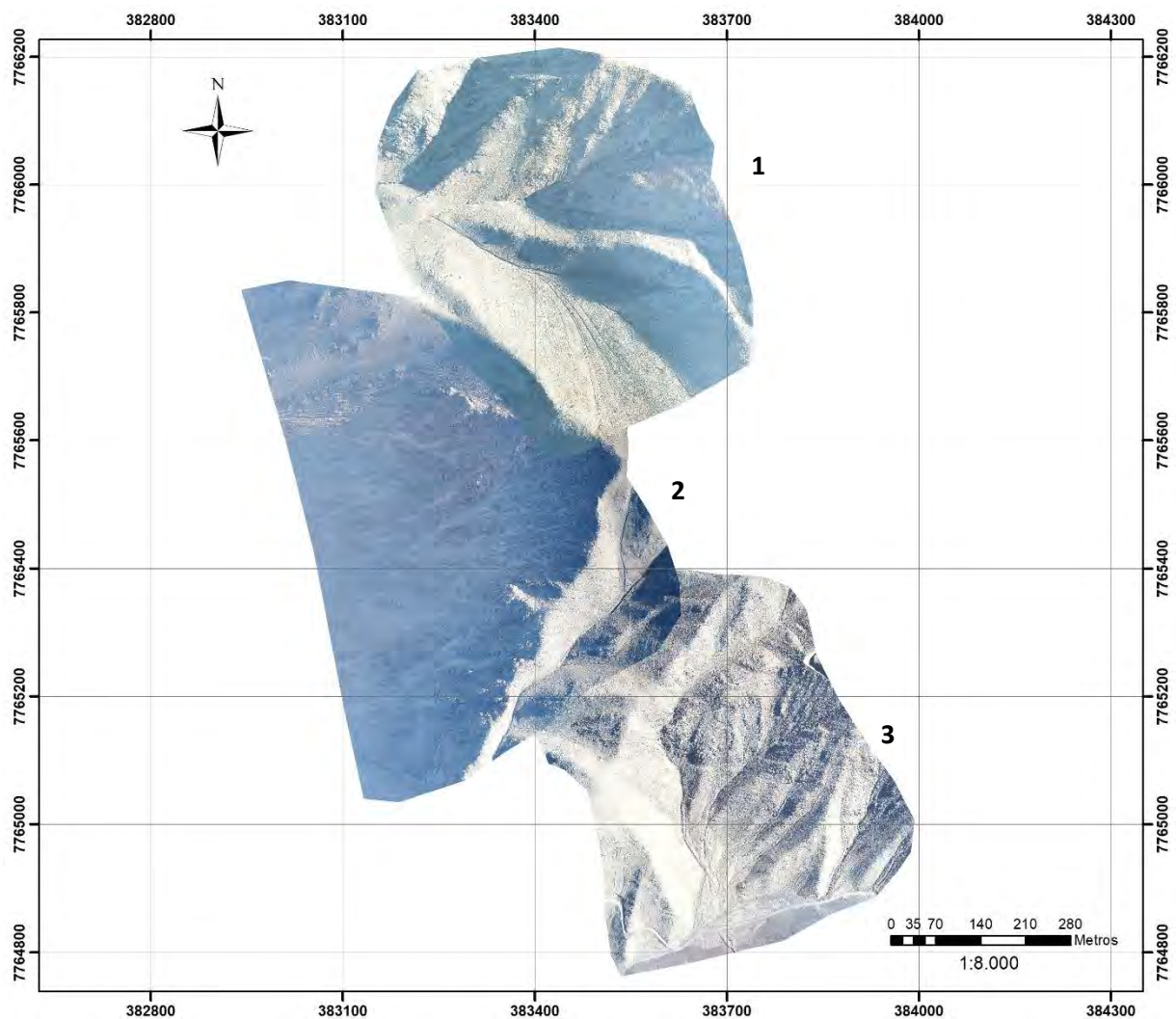


FIG. 2. Cuadrante 1 sector Cerro Esmeralda, Iquique, 26 de marzo 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 82.76 Ha.

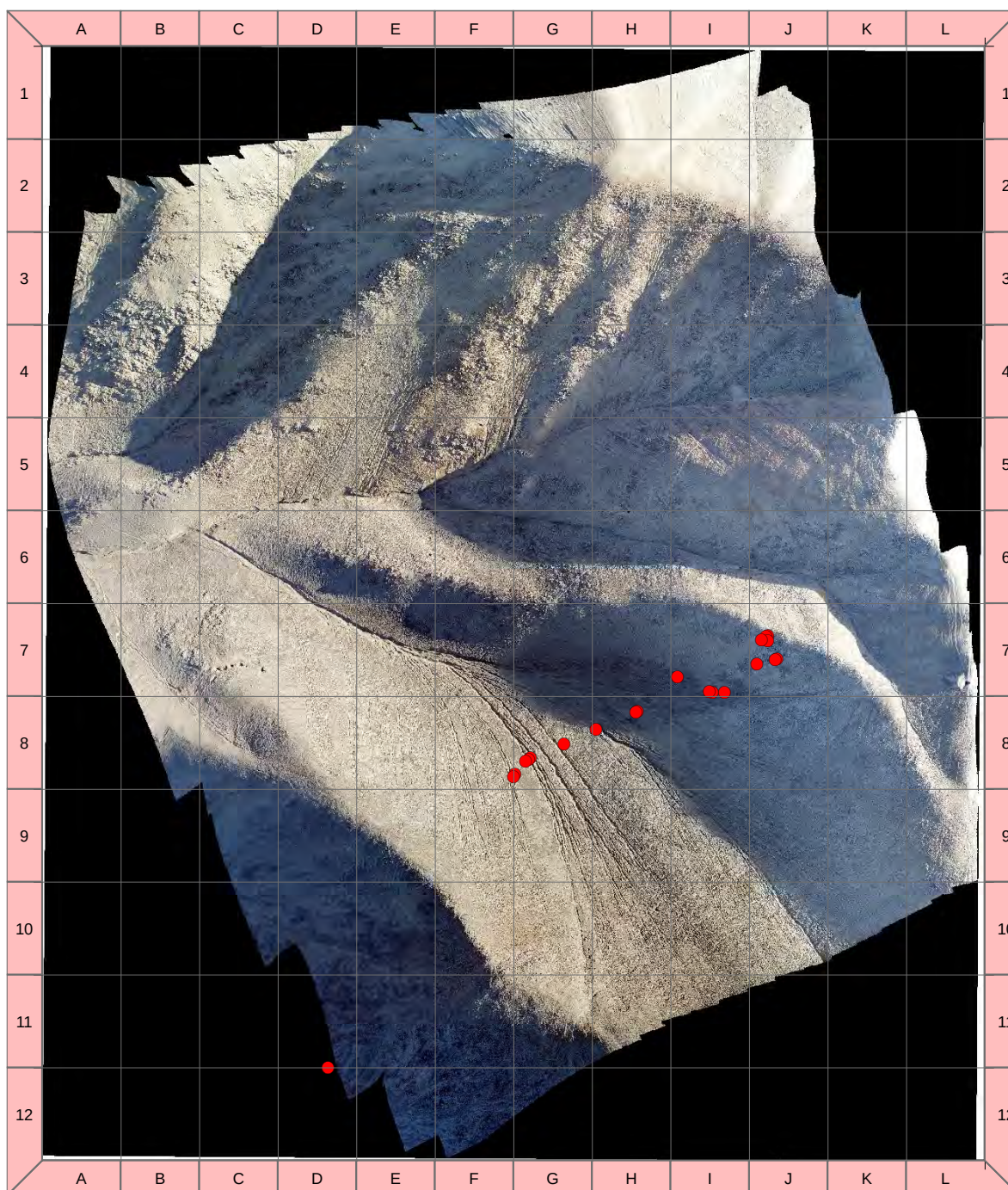


FIG. 3. Grilla del cuadrante 1 sector Cerro Esmeralda, Iquique, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

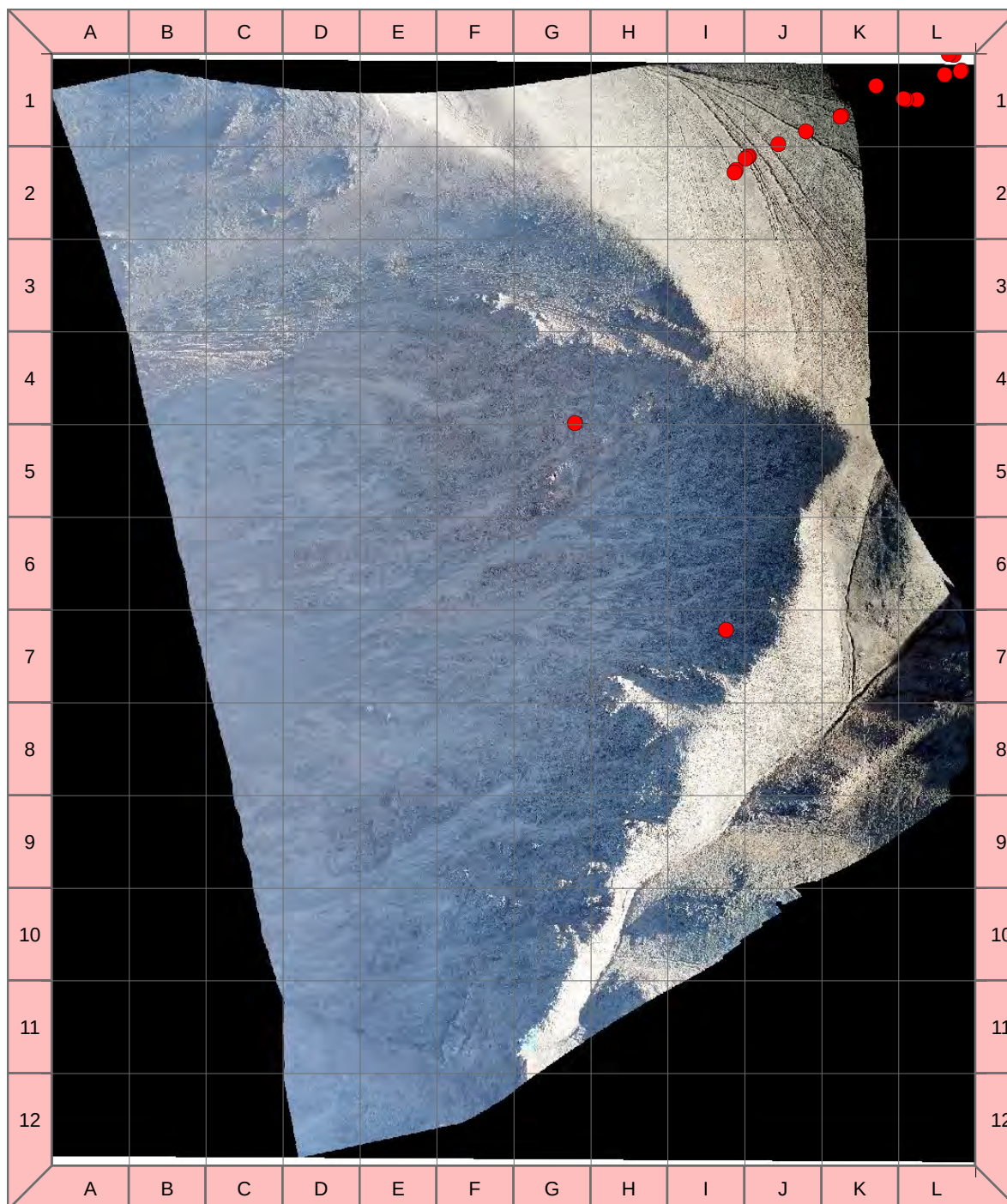


FIG. 4. Grilla del cuadrante 2 sector Cerro Esmeralda, Iquique, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

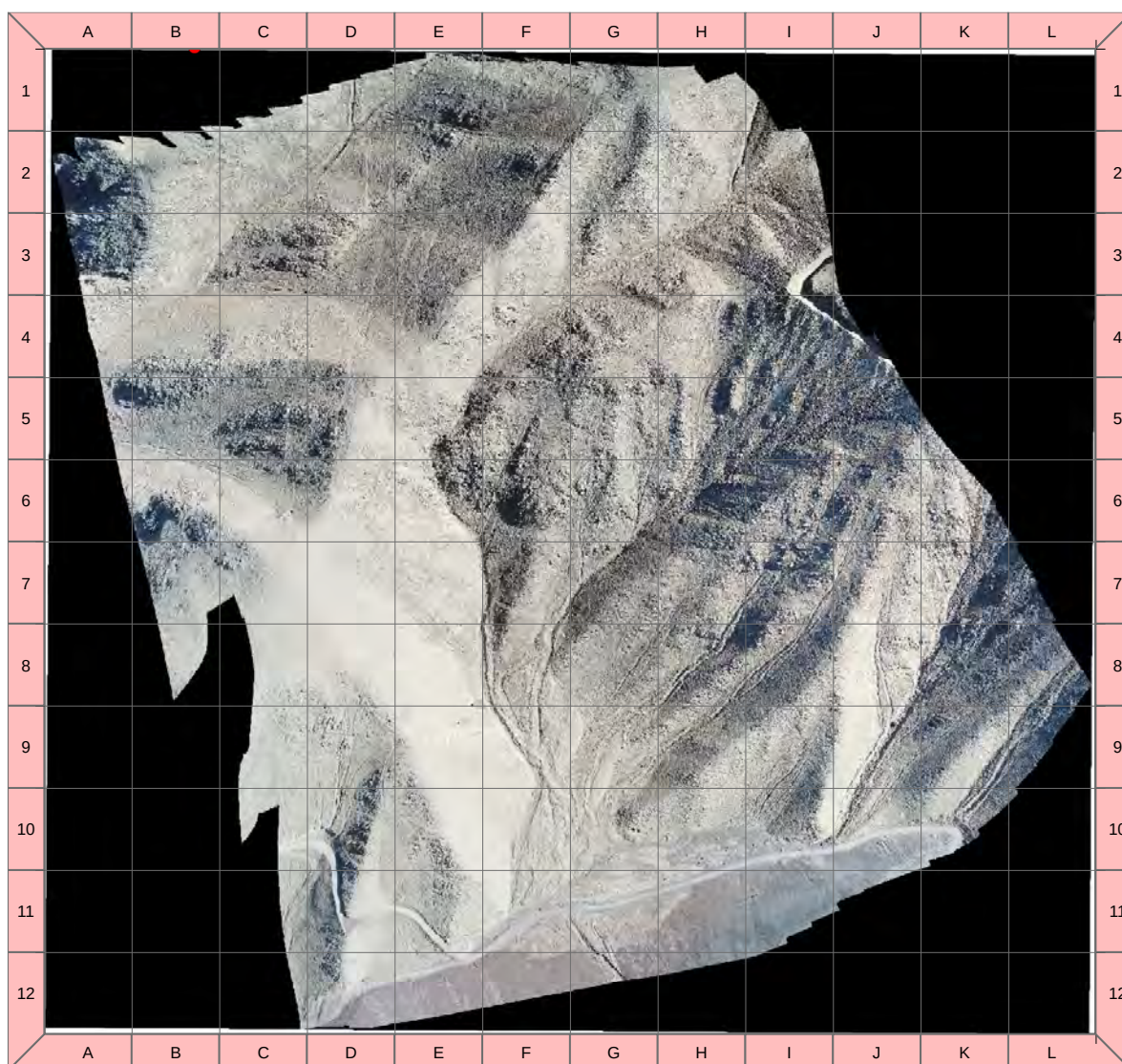


FIG. 5. Grilla del cuadrante 3 sector Cerro Esmeralda, Iquique, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

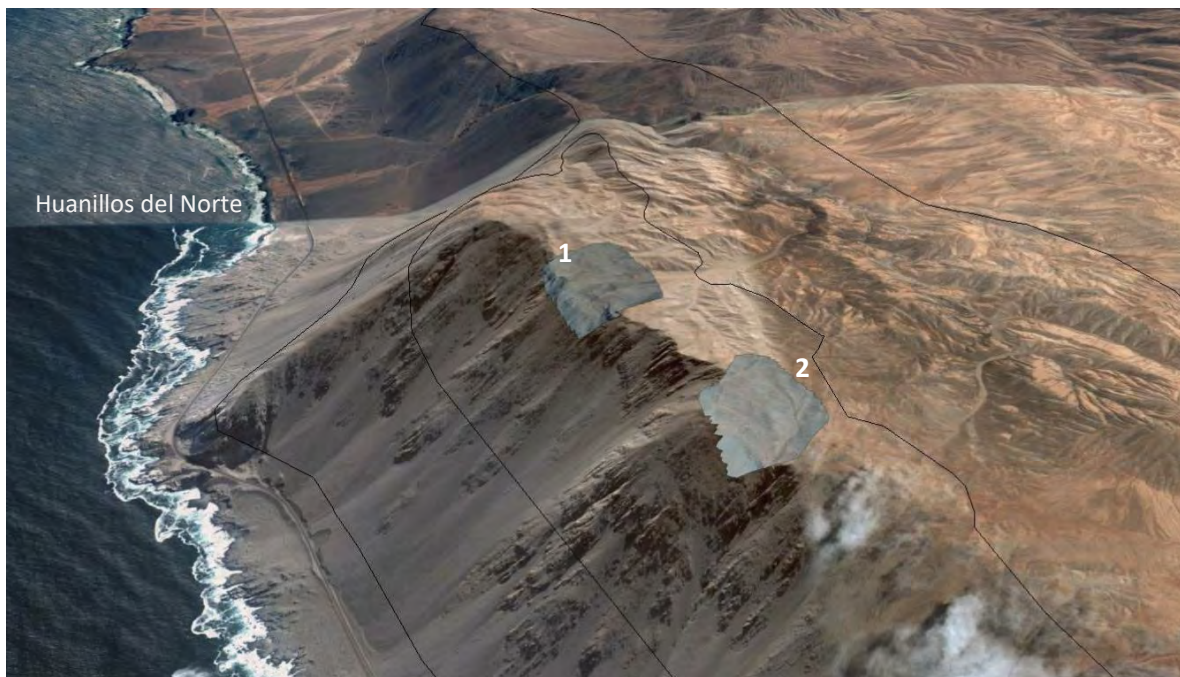


FIG. 6. Localización de los cuadrantes 1 y 2 sobre el acantilado costero en el sector de Chipana norte al sur de Huanillos del norte, entre los 750 y 850 m de altitud.

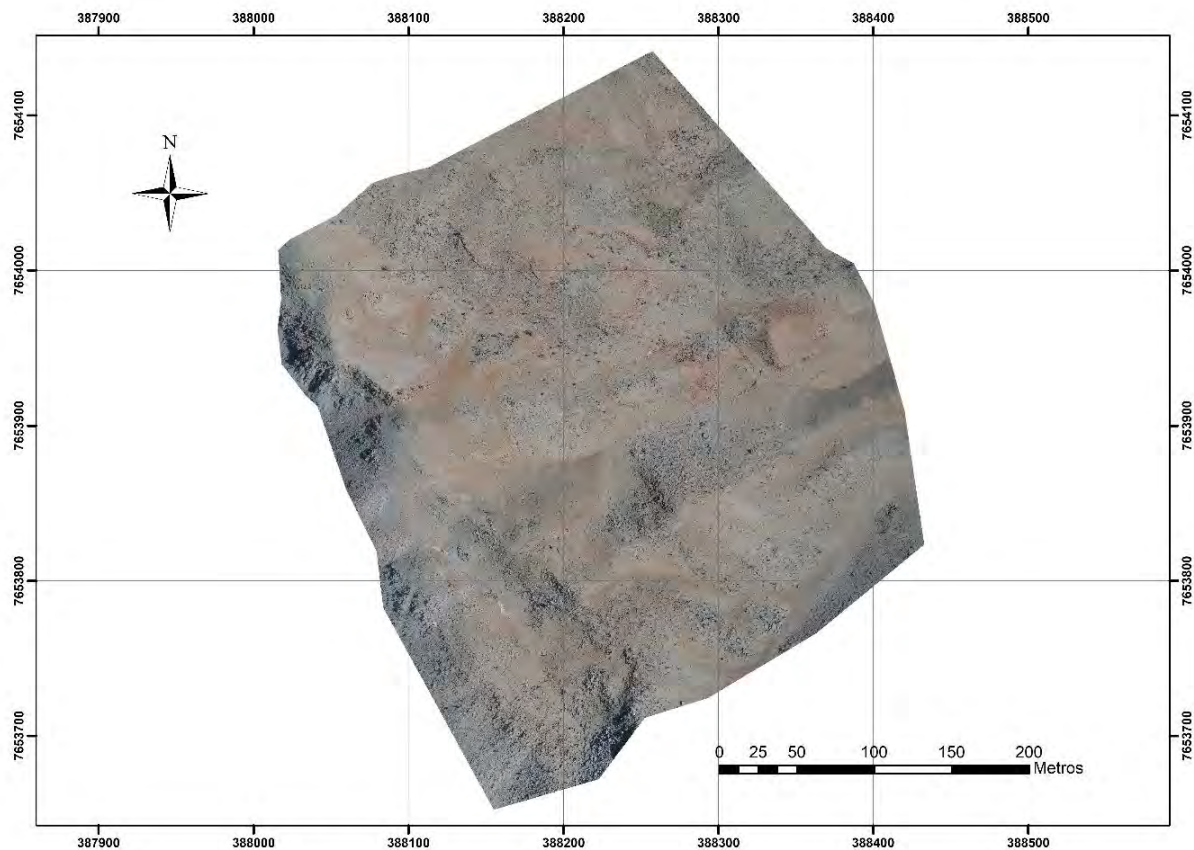


FIG. 7. Cuadrante 1 del sector Chipana norte, 8 de diciembre 2018. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 12,91 Ha.

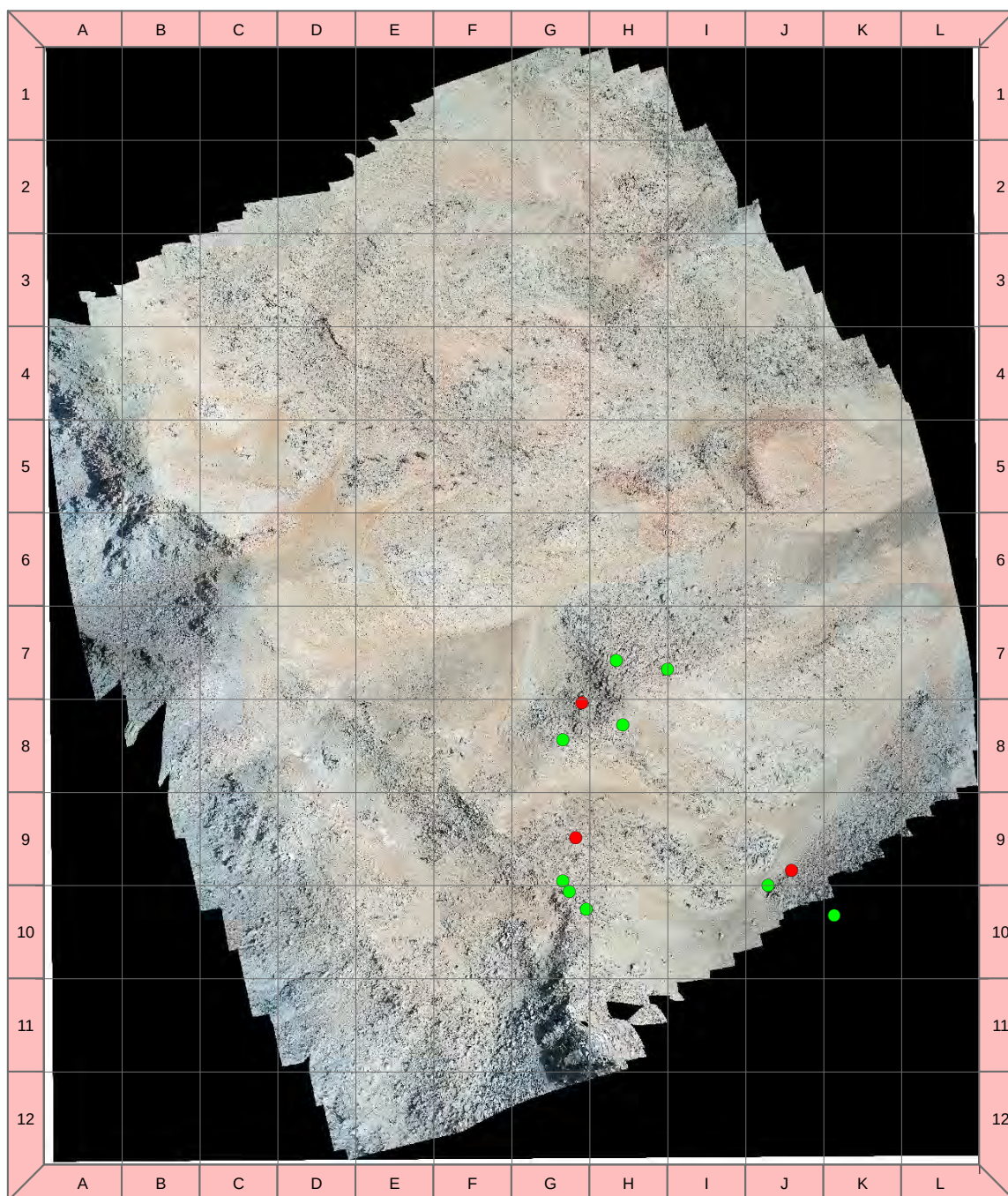


FIG. 8. Grilla del cuadrante 1 sector Chipana norte, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

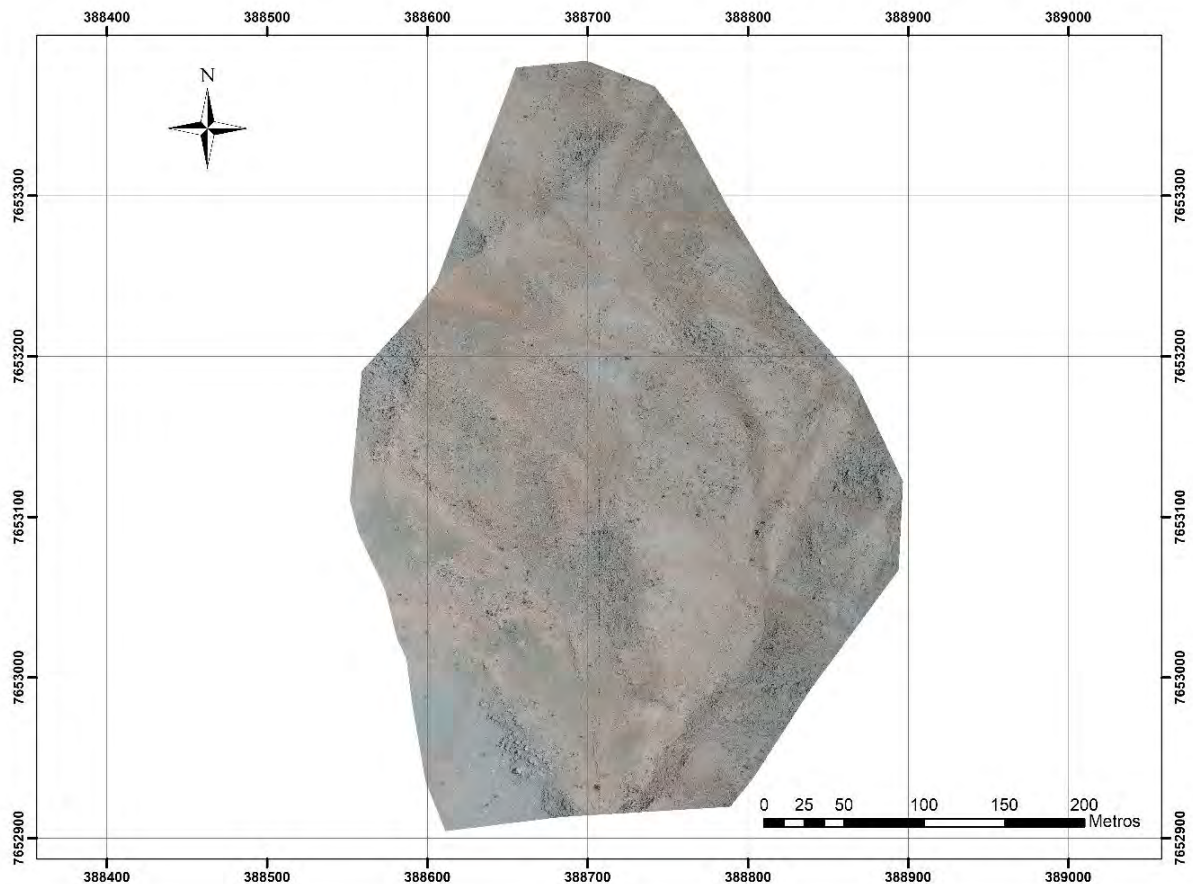


FIG. 9. Cuadrante 2 del sector Chipana norte, 2 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 11,31 Ha.

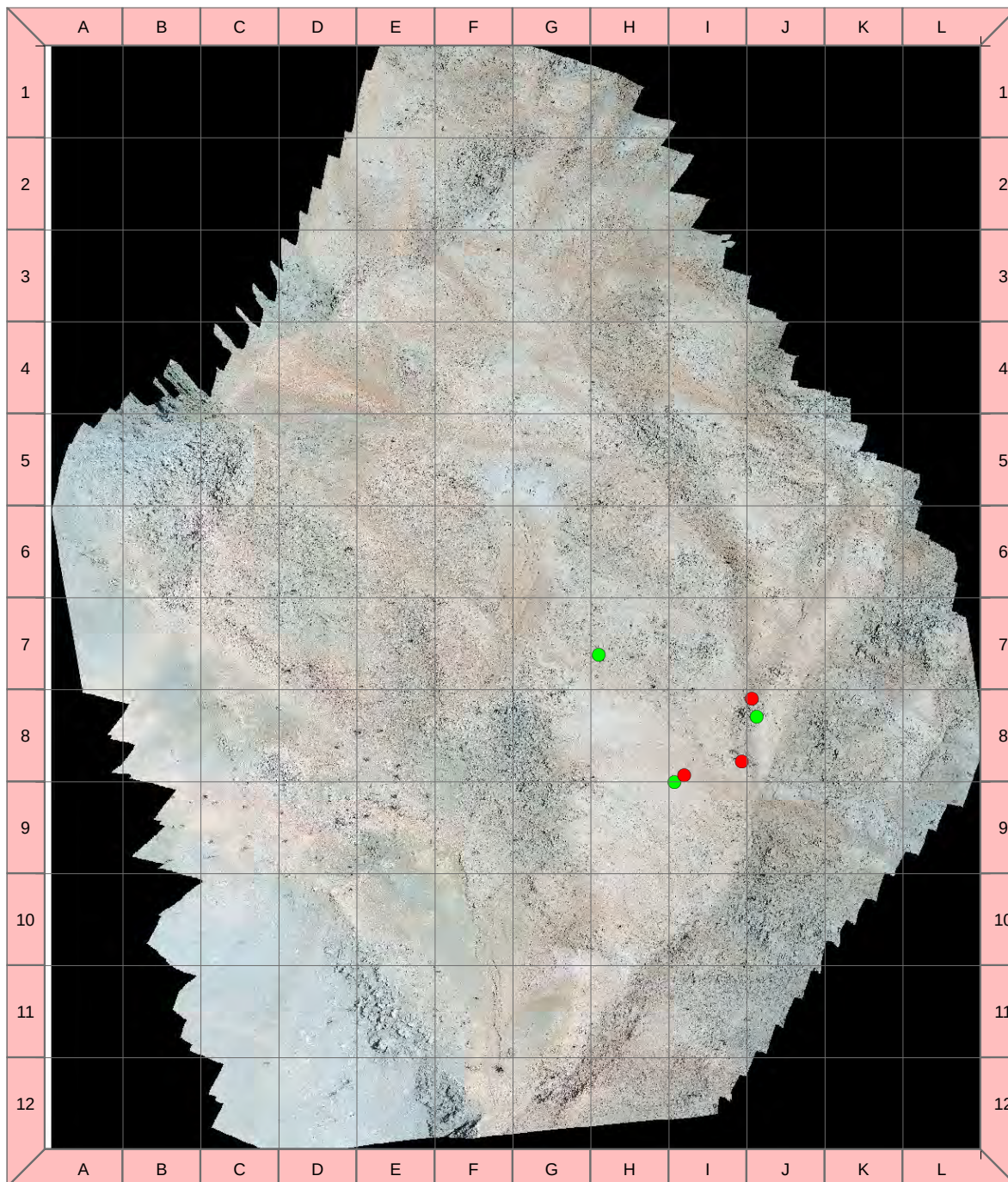


FIG. 10. Grilla del cuadrante 2 sector Chipana norte, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

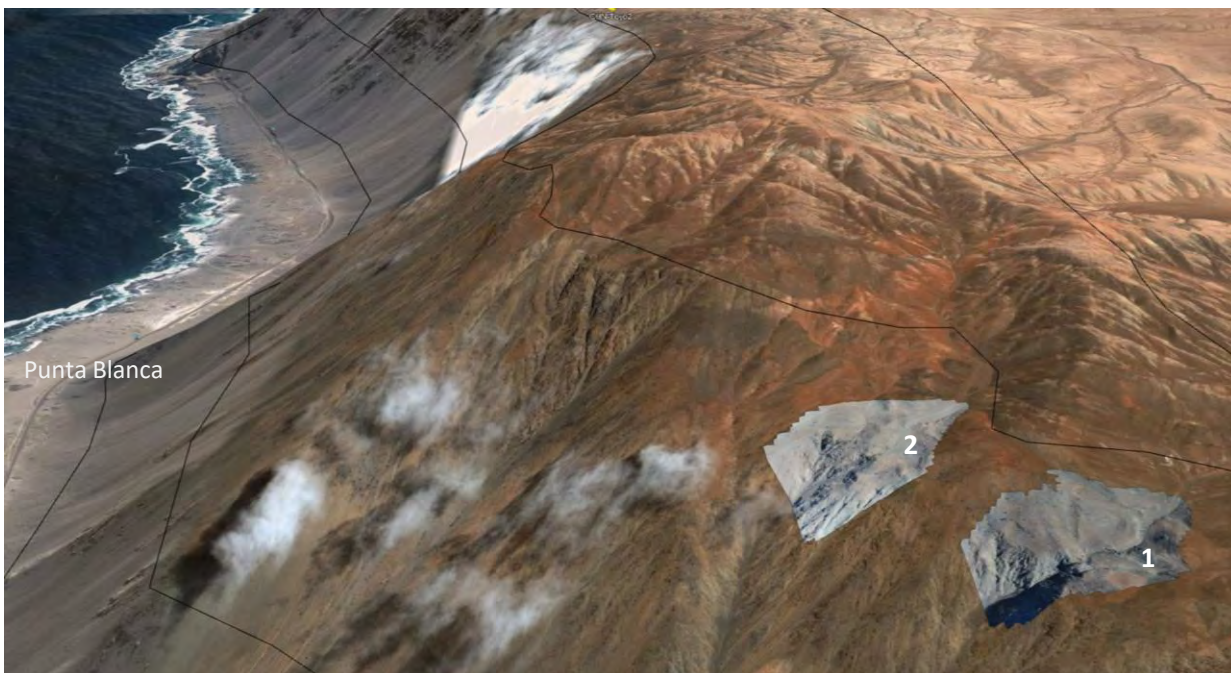


FIG. 11. Localización de los cuadrantes 1 y 2 sobre el acantilado costero en el sector de Chipana centro al sur de Punta Blanca, entre los 850 y 950 m de altitud.

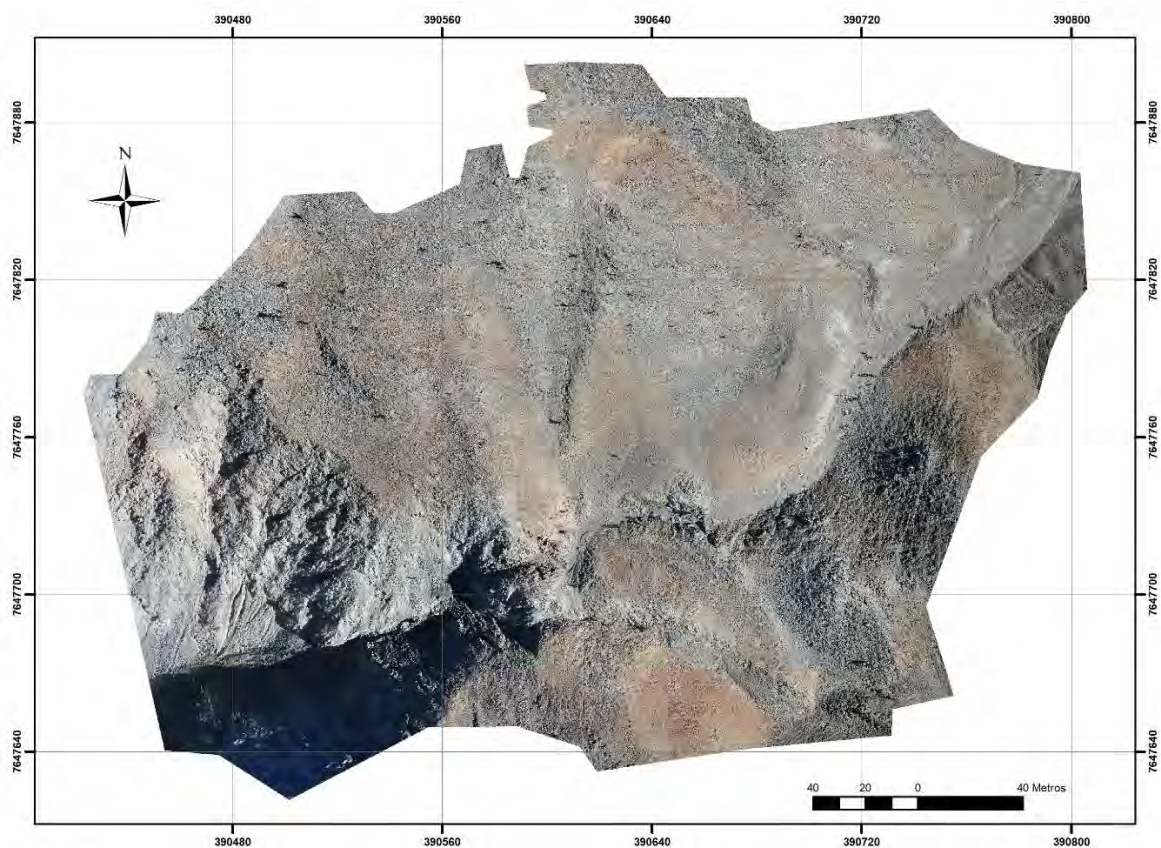


FIG. 12. Cuadrante 1 sector Chipana centro, 8 de diciembre 2018. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 7,53 Ha.

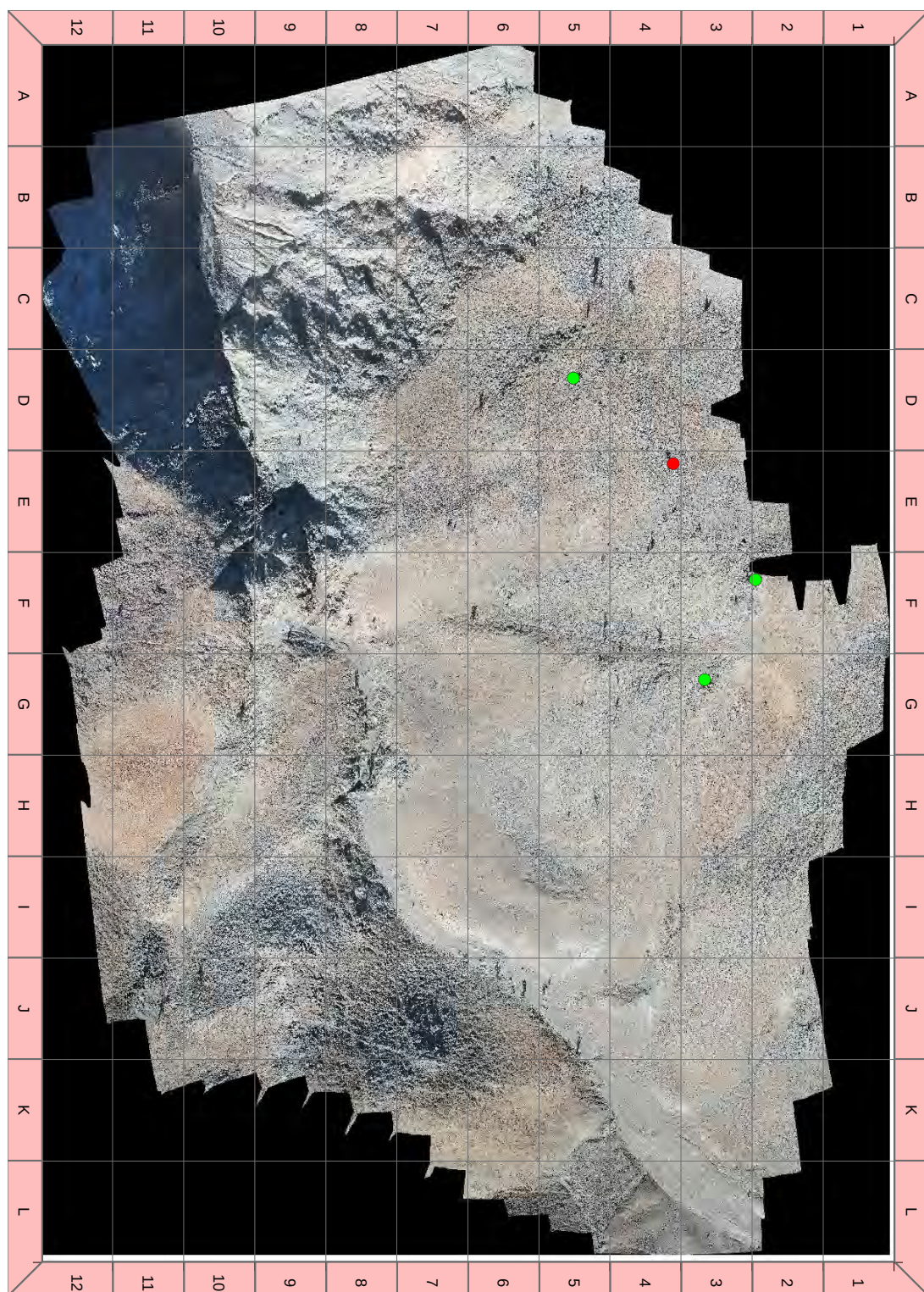


FIG. 13. Grilla del cuadrante 1 sector Chipana centro, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

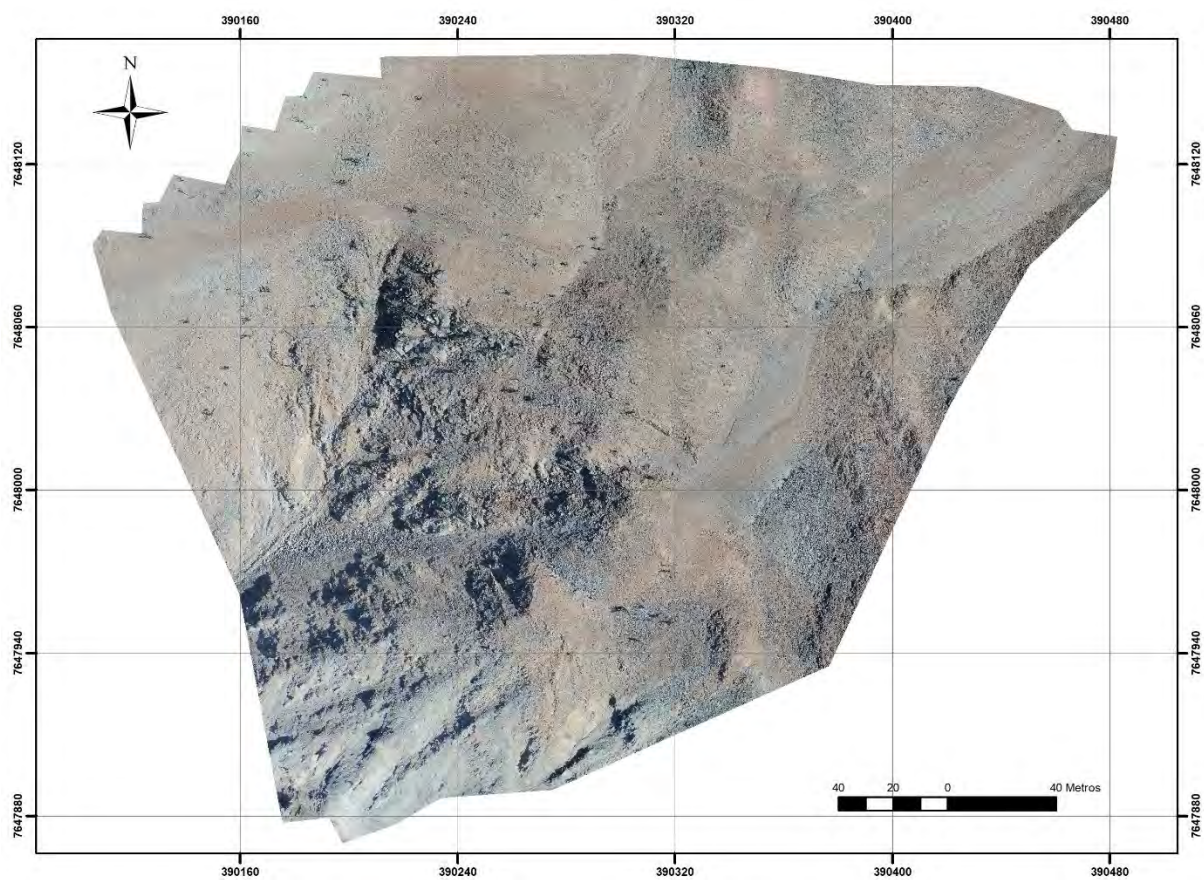


FIG. 14. Cuadrante 2 del sector Chipana centro, 8 de diciembre 2018. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 7,15 Ha.

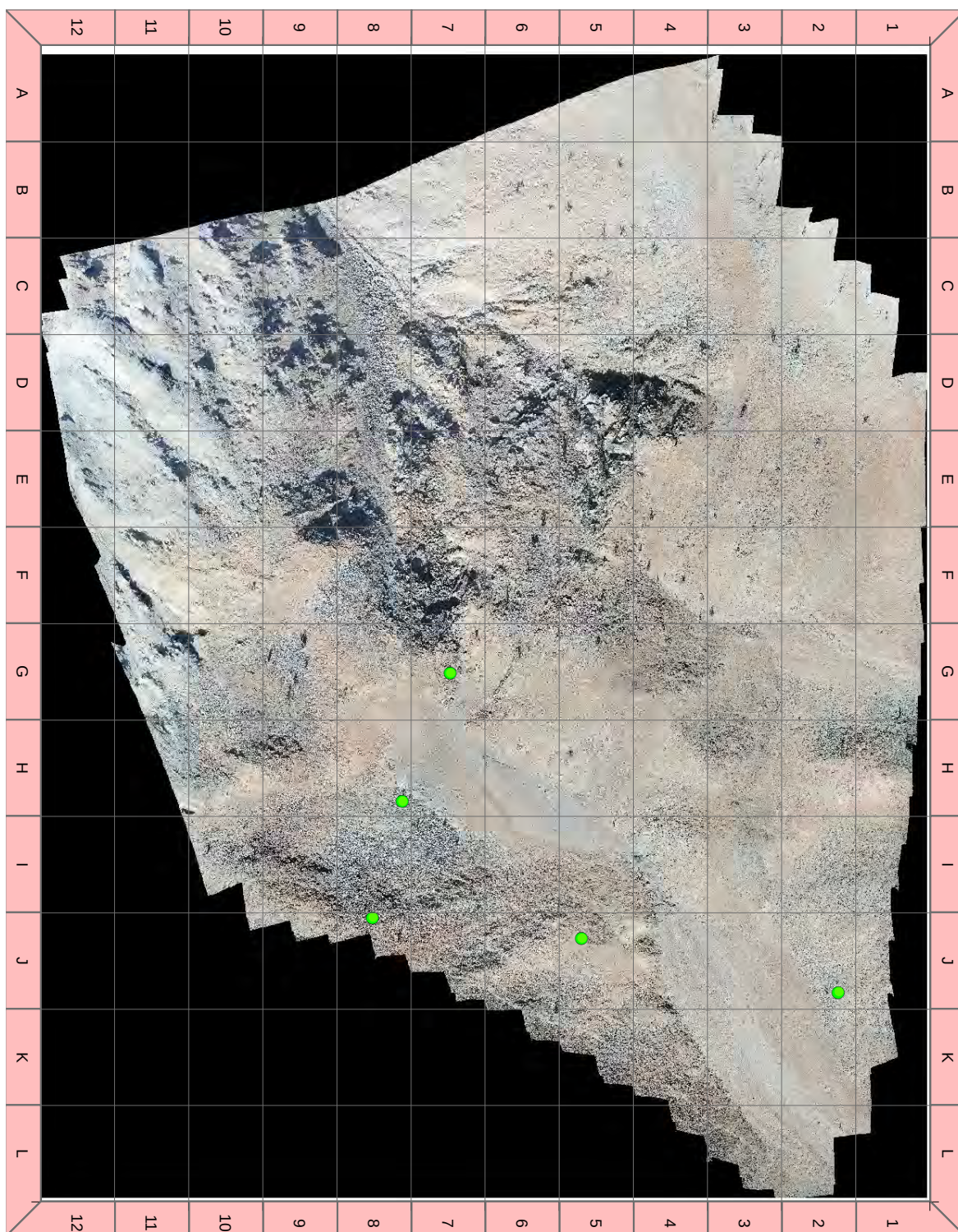


FIG. 15. Grilla del cuadrante 2 sector Chipana centro, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

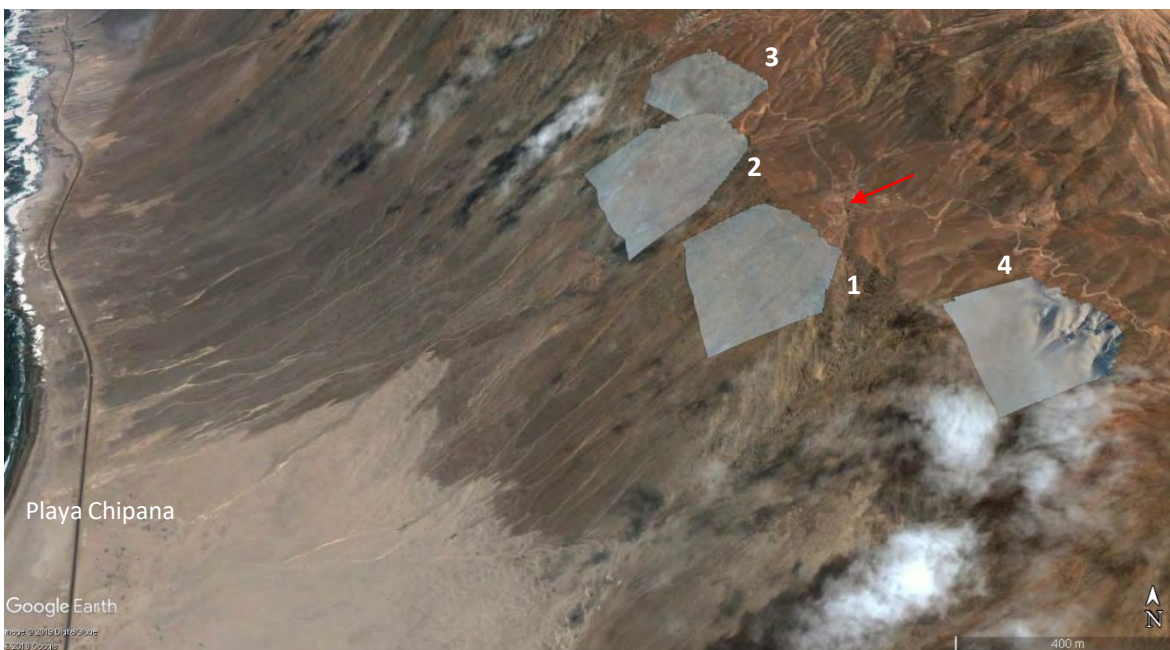


FIG. 16. Localización de los cuadrantes 1, 2 en el acantilado costero entre los 560 y 800 m de altitud y 3 y 4 sobre el acantilado en el sector de Chipana sur, frente a playa Chipana entre los 800 y 930 m de altitud. Flecha indica ubicación de la antigua Mina Paiquina.

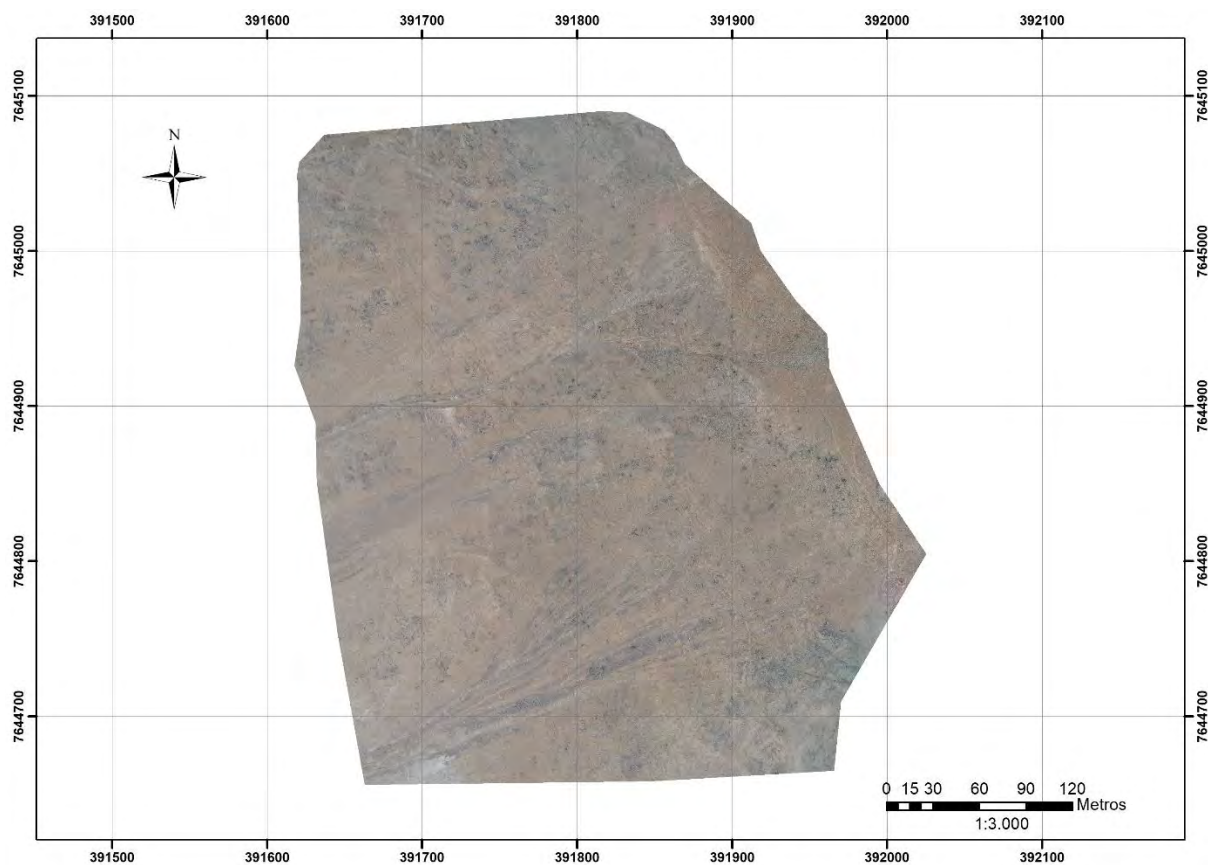


FIG. 17. Cuadrante 1 sector Chipana sur, 23 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 13.87 Ha.

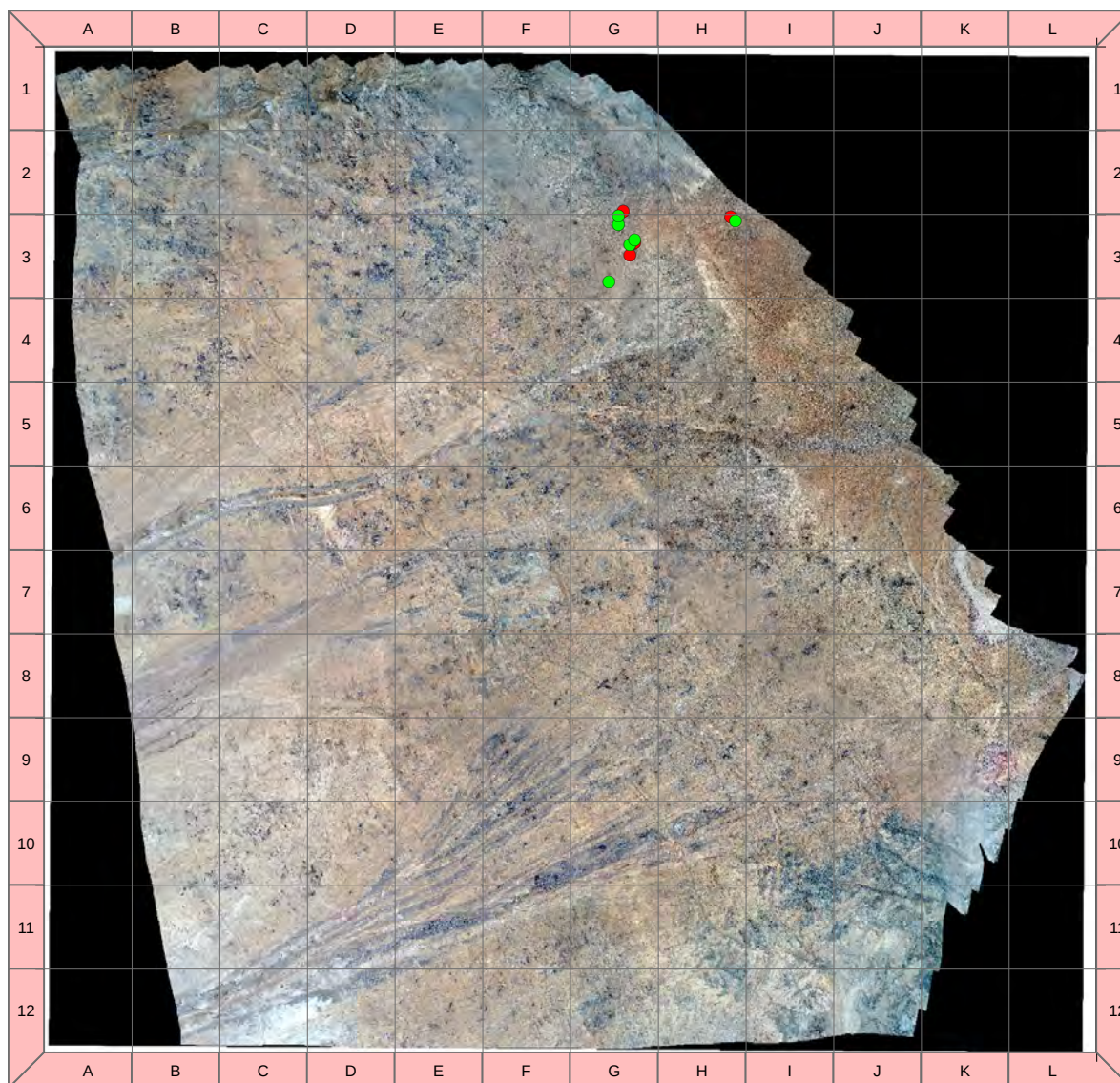


FIG. 18. Grilla del cuadrante 1 sector Chipana sur, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

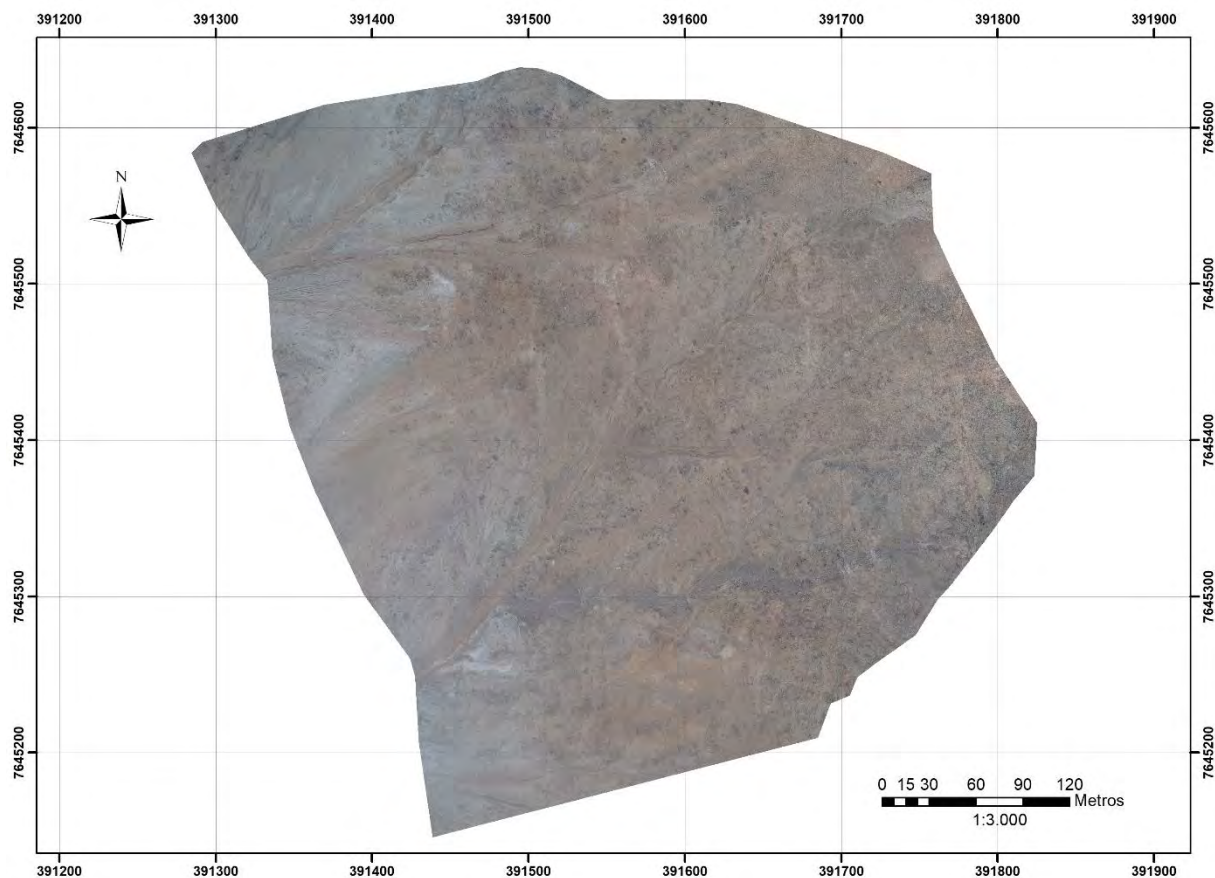


FIG. 19. Cuadrante 2 sector Chipana sur, 23 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 17.60 Ha.

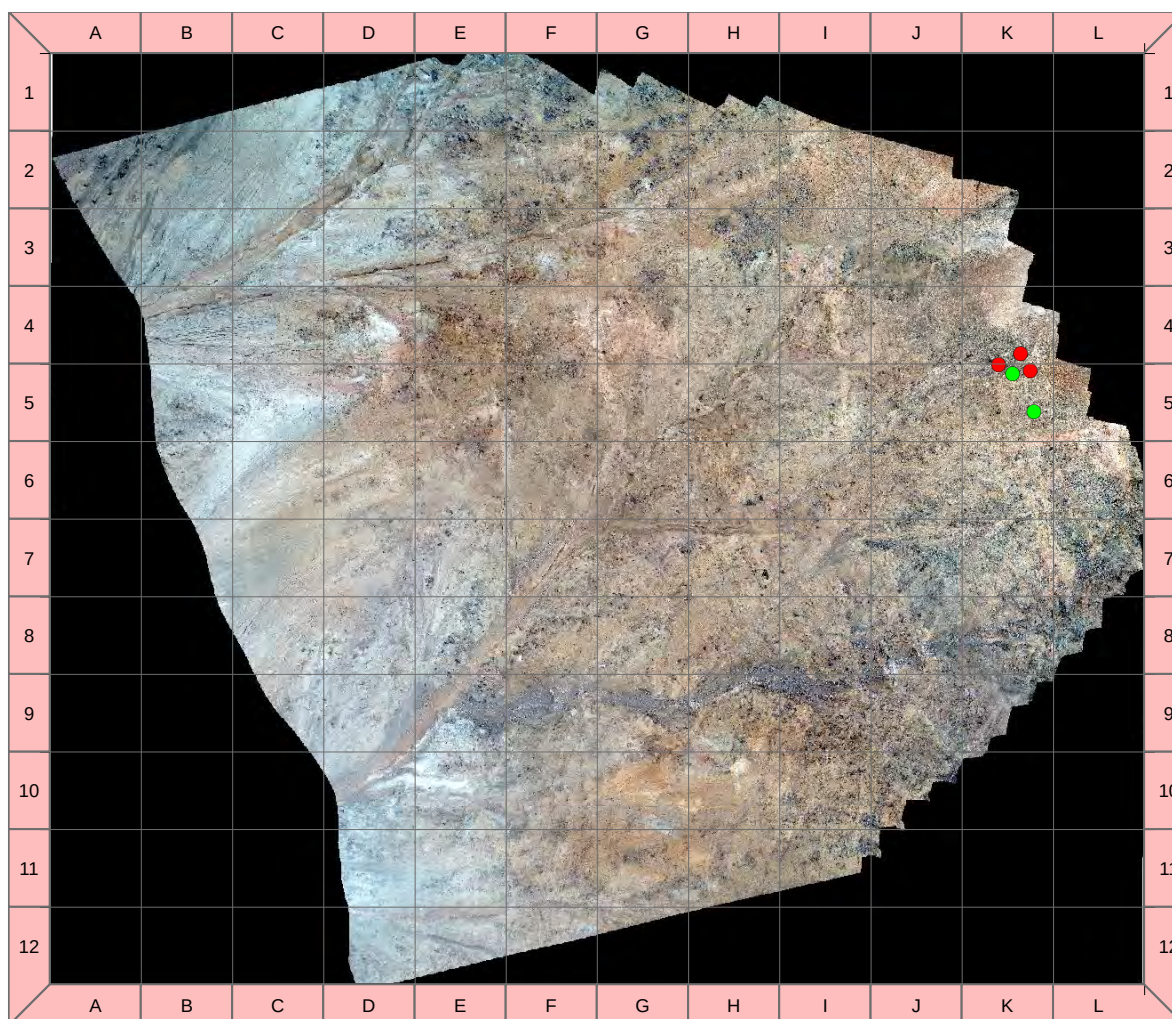


FIG. 20. Grilla del cuadrante 2 sector Chipana sur, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

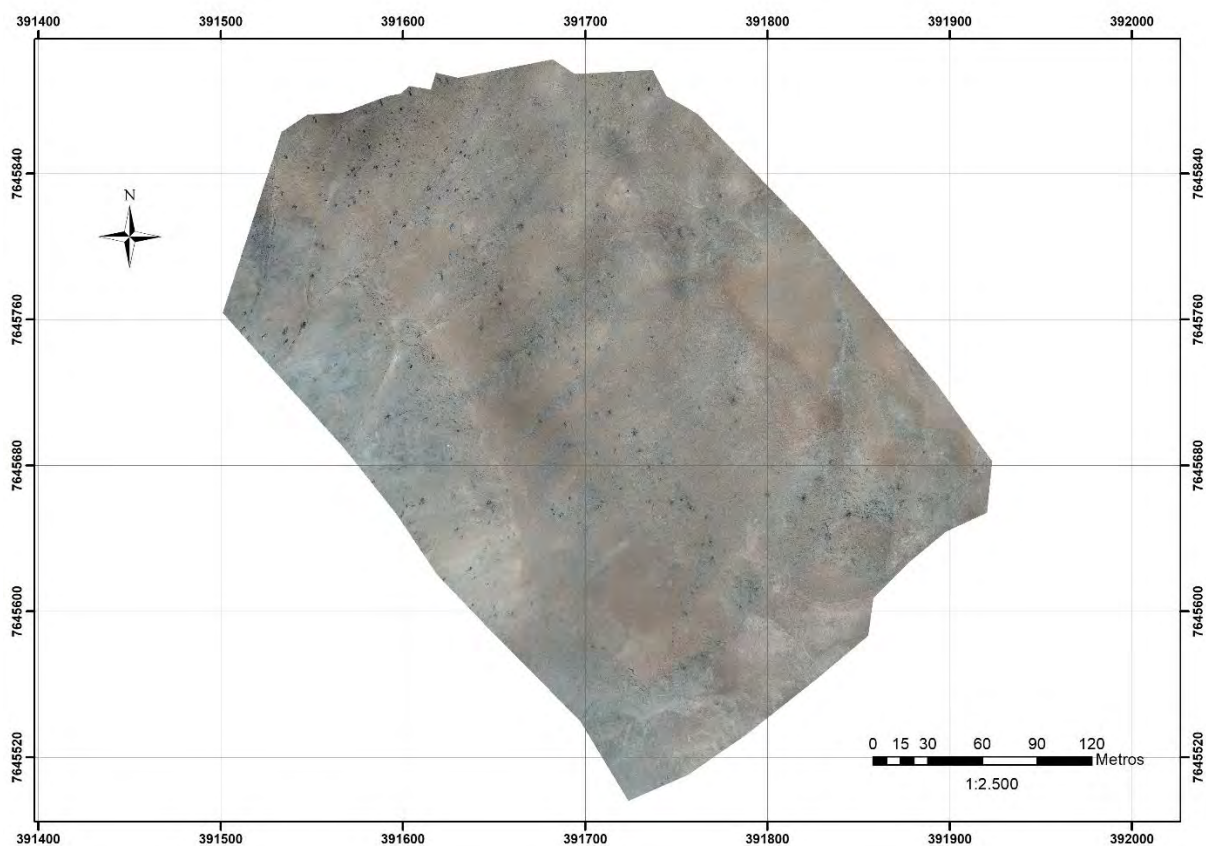


FIG. 21. Cuadrante 3 sector Chipana sur, 23 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 10.08 Ha.

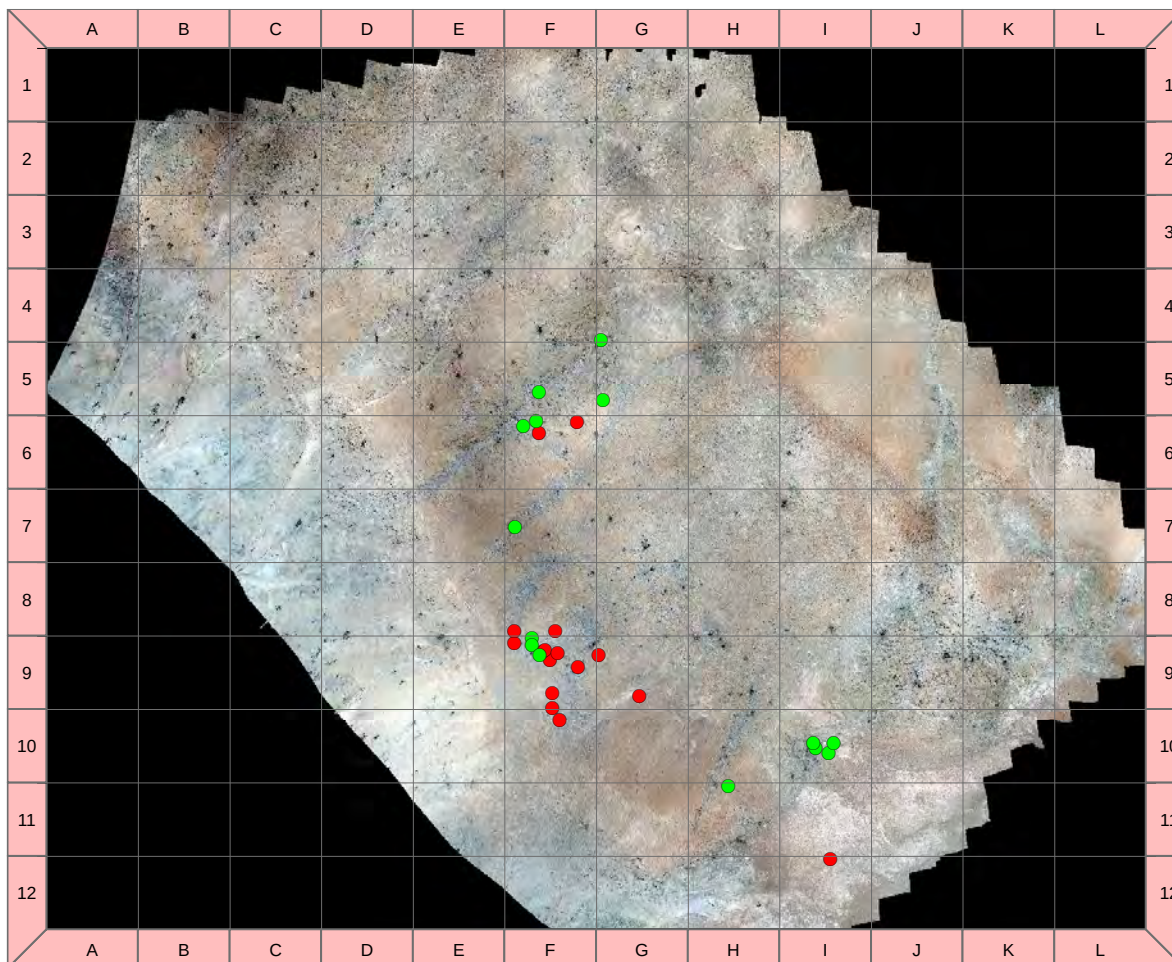


FIG. 22. Grilla del cuadrante 3 sector Chipana sur, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

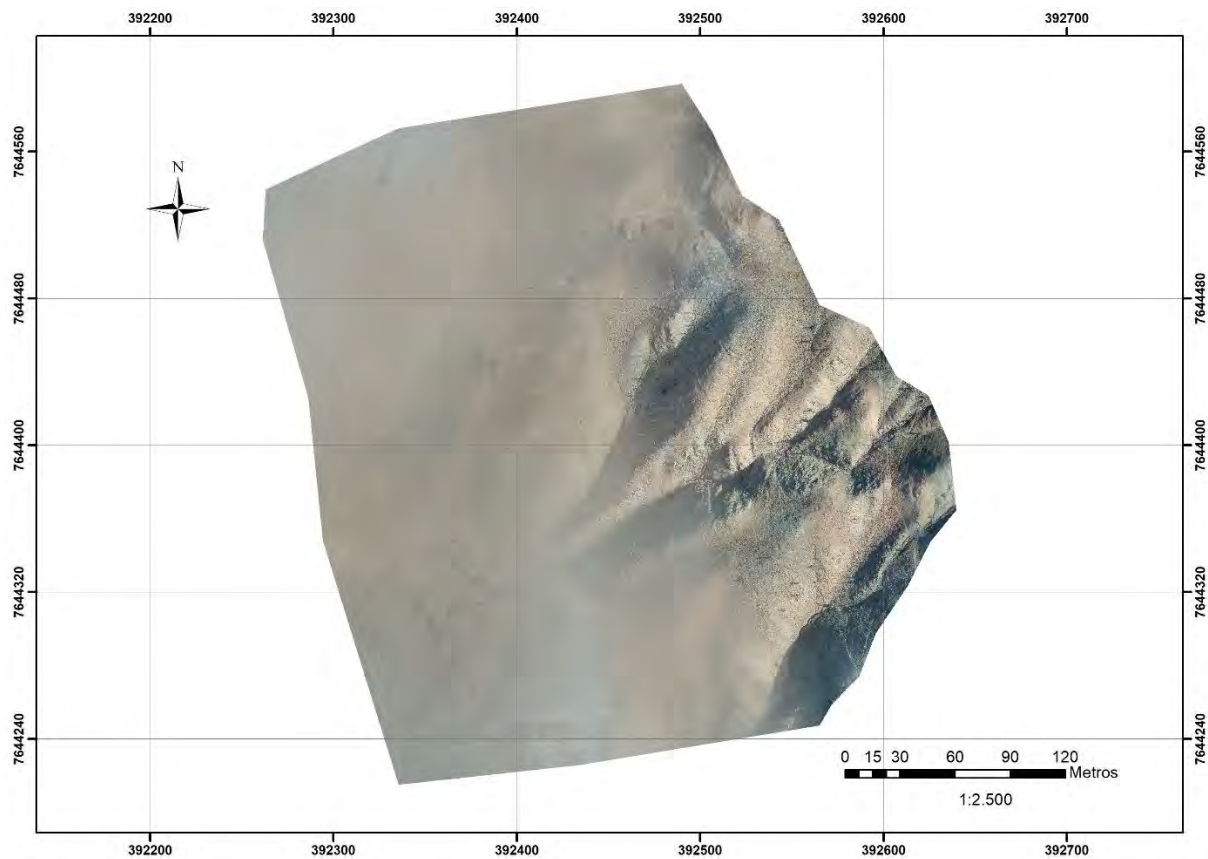


FIG. 23. Cuadrante 4 sector Chipana sur, 23 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 10.31 Ha.

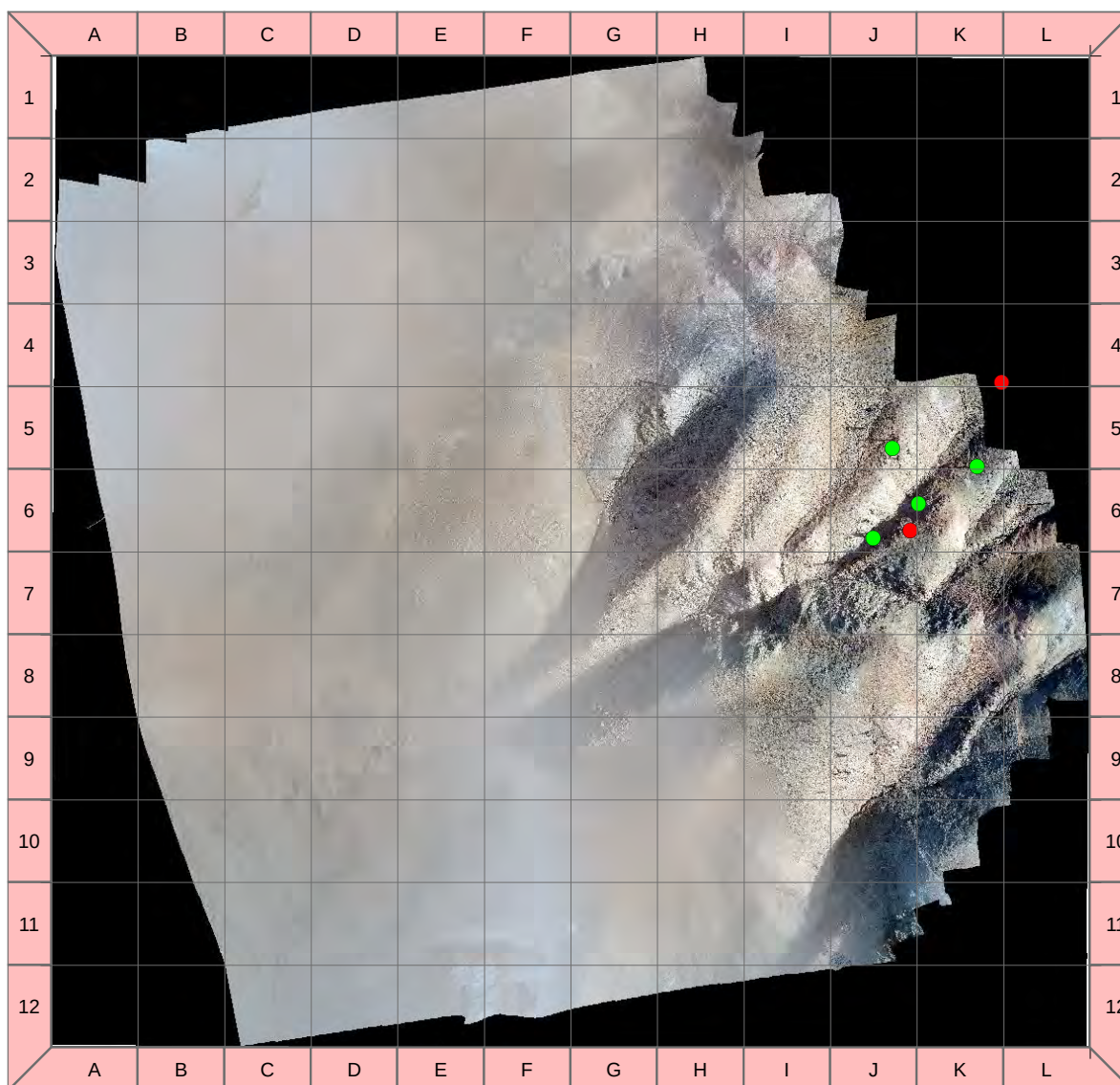


FIG. 24. Grilla del cuadrante 4 sector Chipana sur, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).



FIG. 25. Localización de los cuadrantes 1, 2 y 3 sobre el acantilado costero en el sector de Loa norte y sur lomajes al norte de río Loa, entre los 470 y 790 m de altitud. Las flechas rojas dentro de la ortofoto indican ubicación de antiguos corrales y la que aparece al borde del acantilado indica el sendero de bajada.

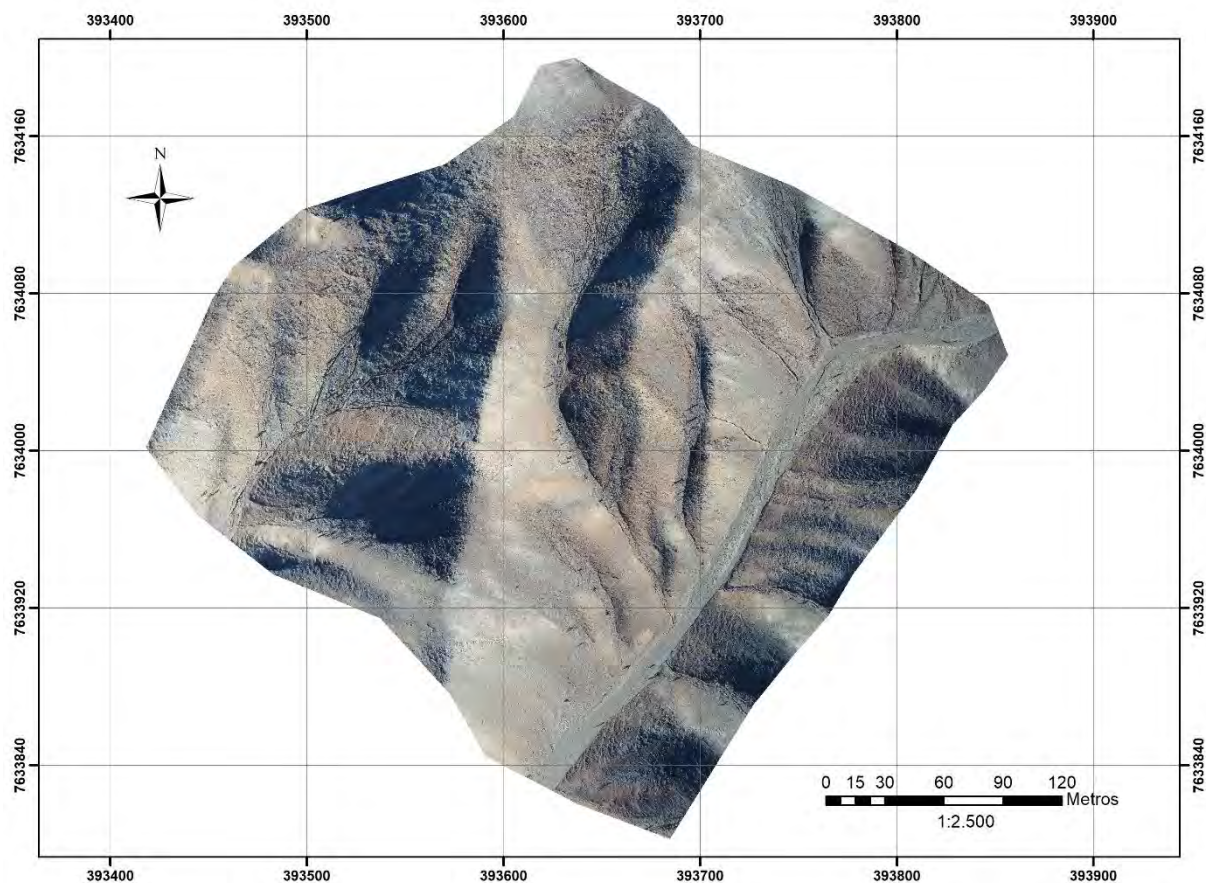


FIG. 26. Cuadrante 1 sector Loa norte, 14 de abril 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 9.83 Ha.



FIG. 27. Grilla del cuadrante 1 sector Loa norte, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

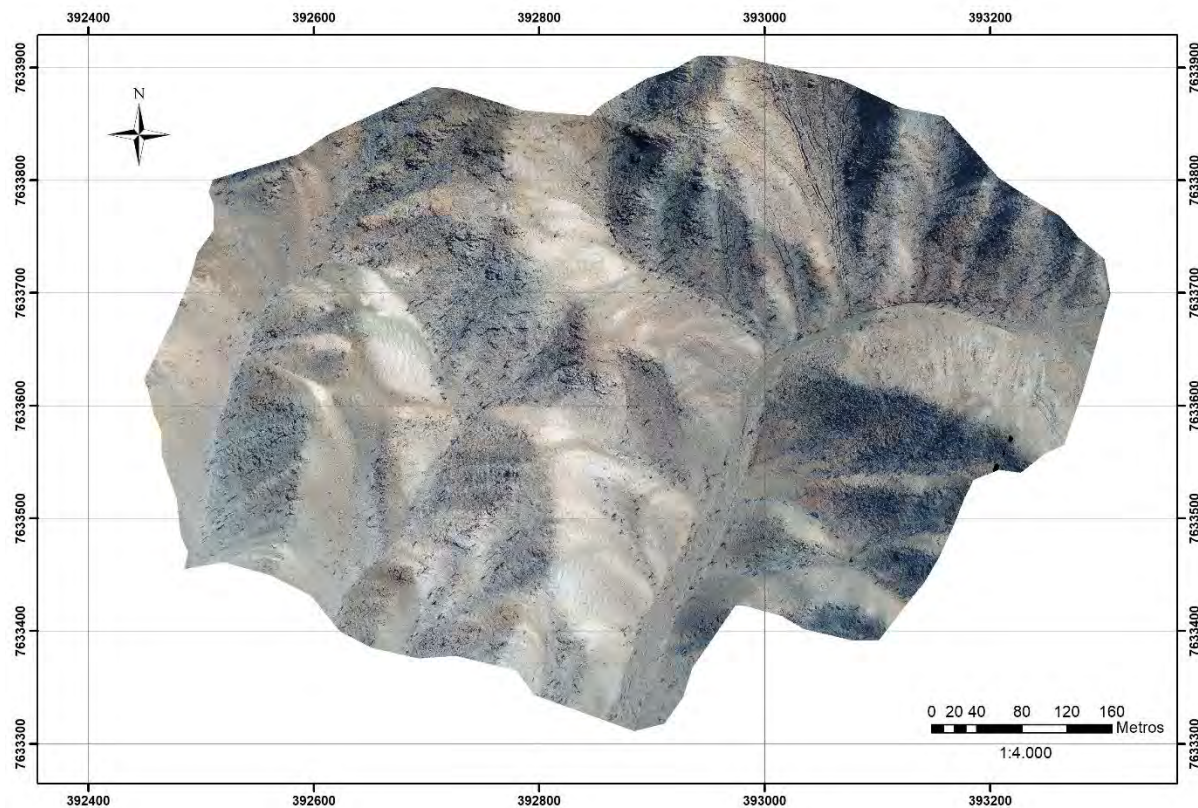


FIG. 28. Cuadrante 2 y 3 sector Loa norte, 14 de abril 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 35.53 Ha.

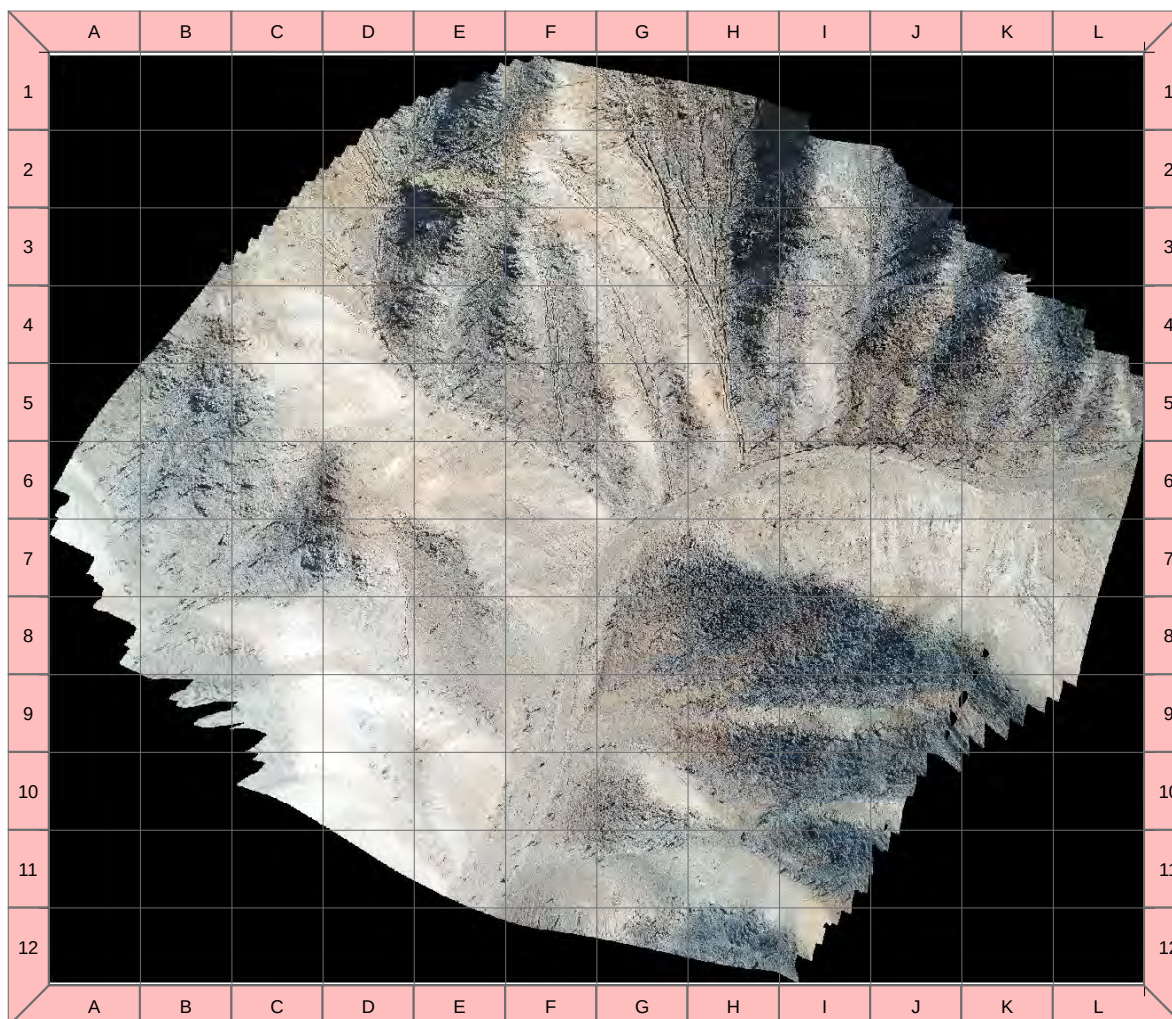


FIG. 29. Grilla del cuadrante 2 sector Loa norte, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

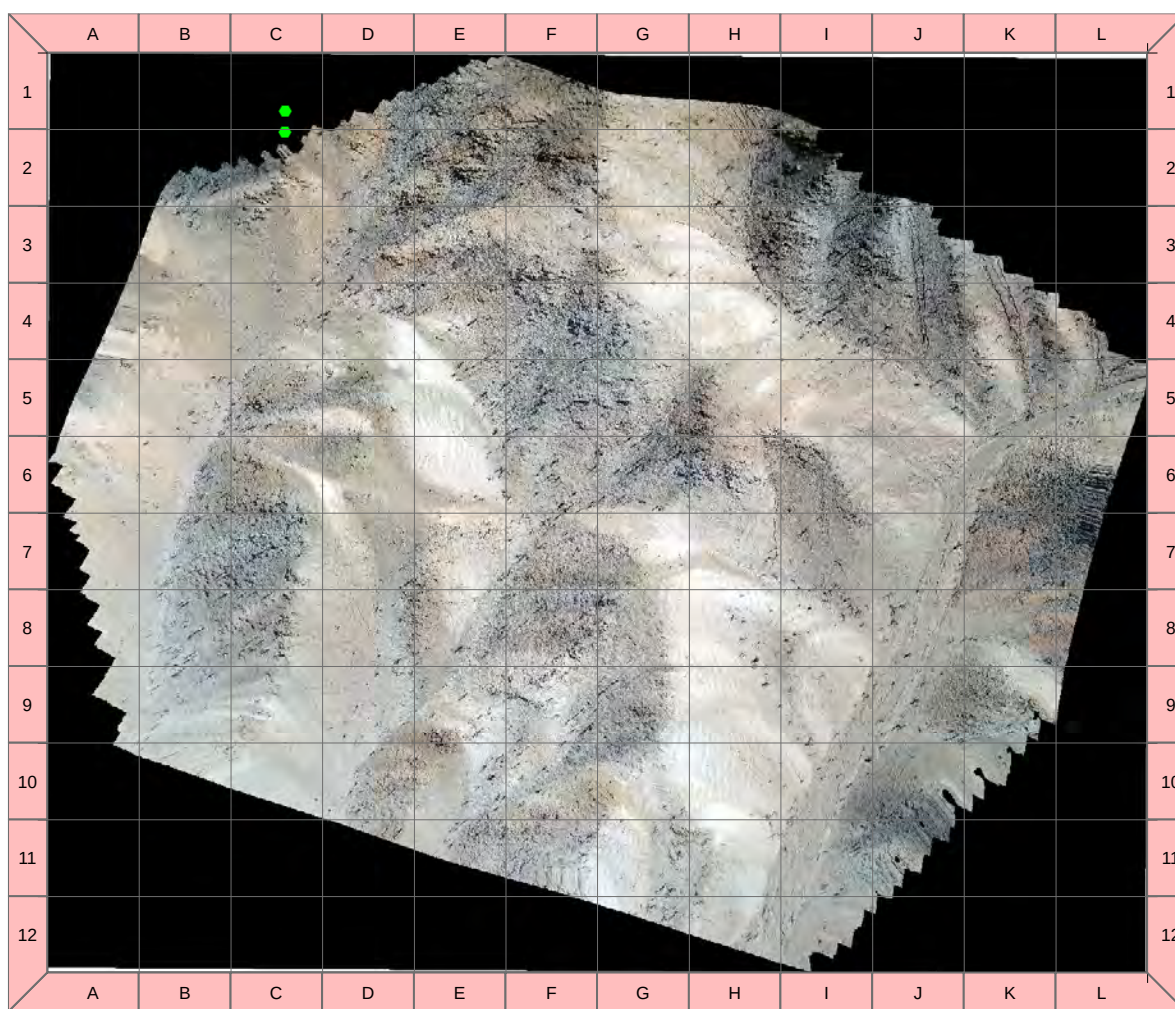


FIG. 30. Grilla del cuadrante 3 sector Loa norte, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

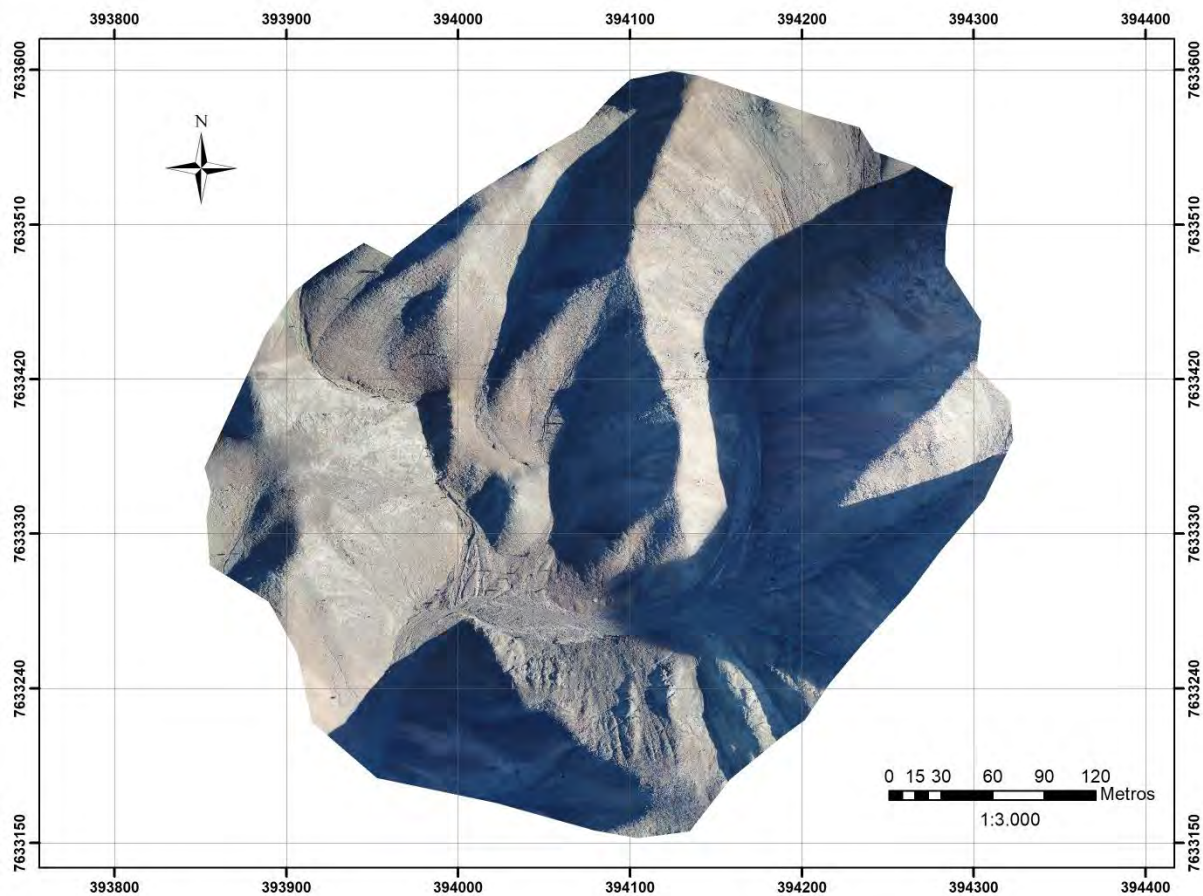


FIG. 31. Cuadrante 1 sector Loa sur, 24 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 14.25 Ha.

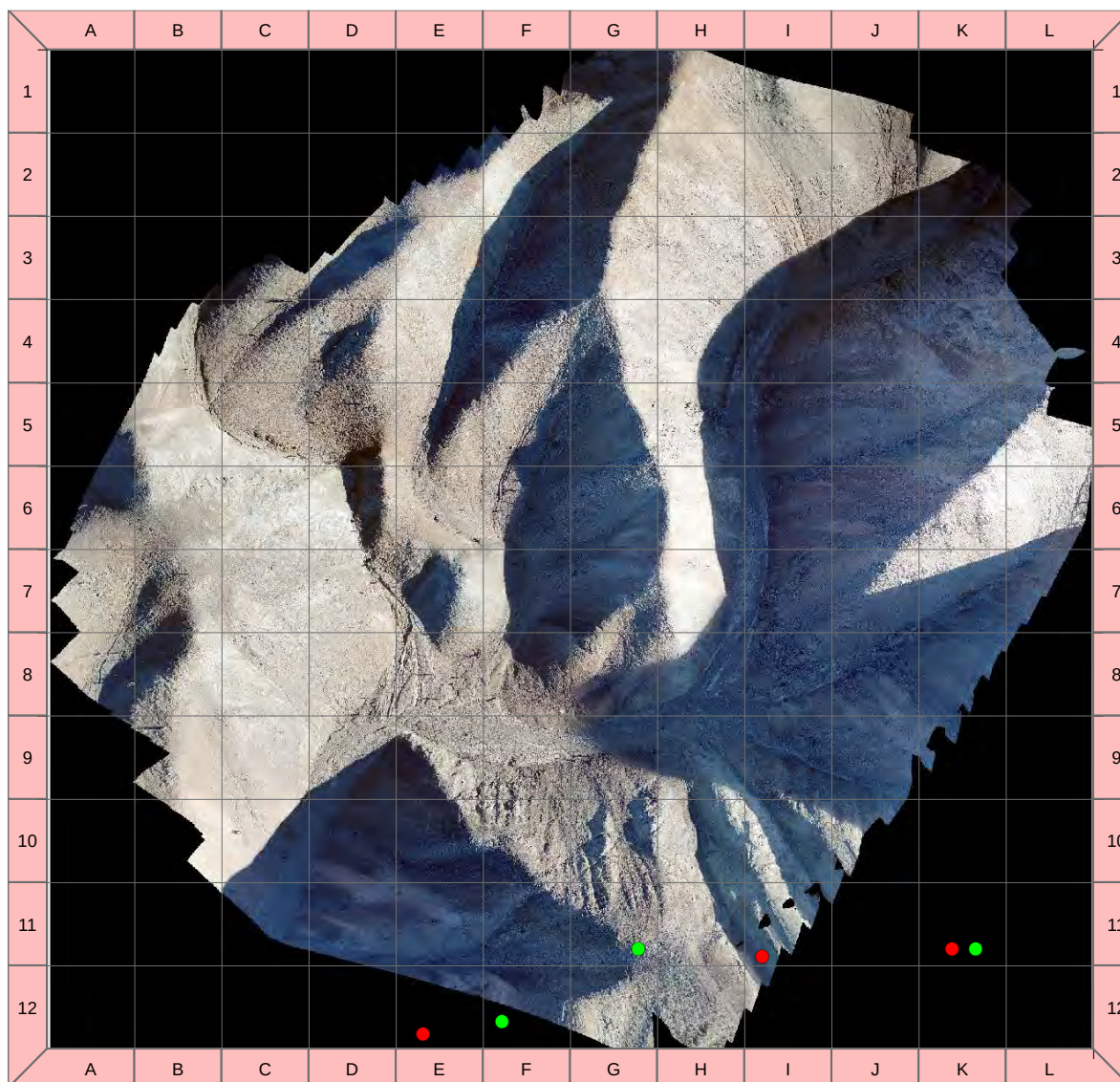


FIG. 32. Grilla del cuadrante 1 sector Loa sur, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

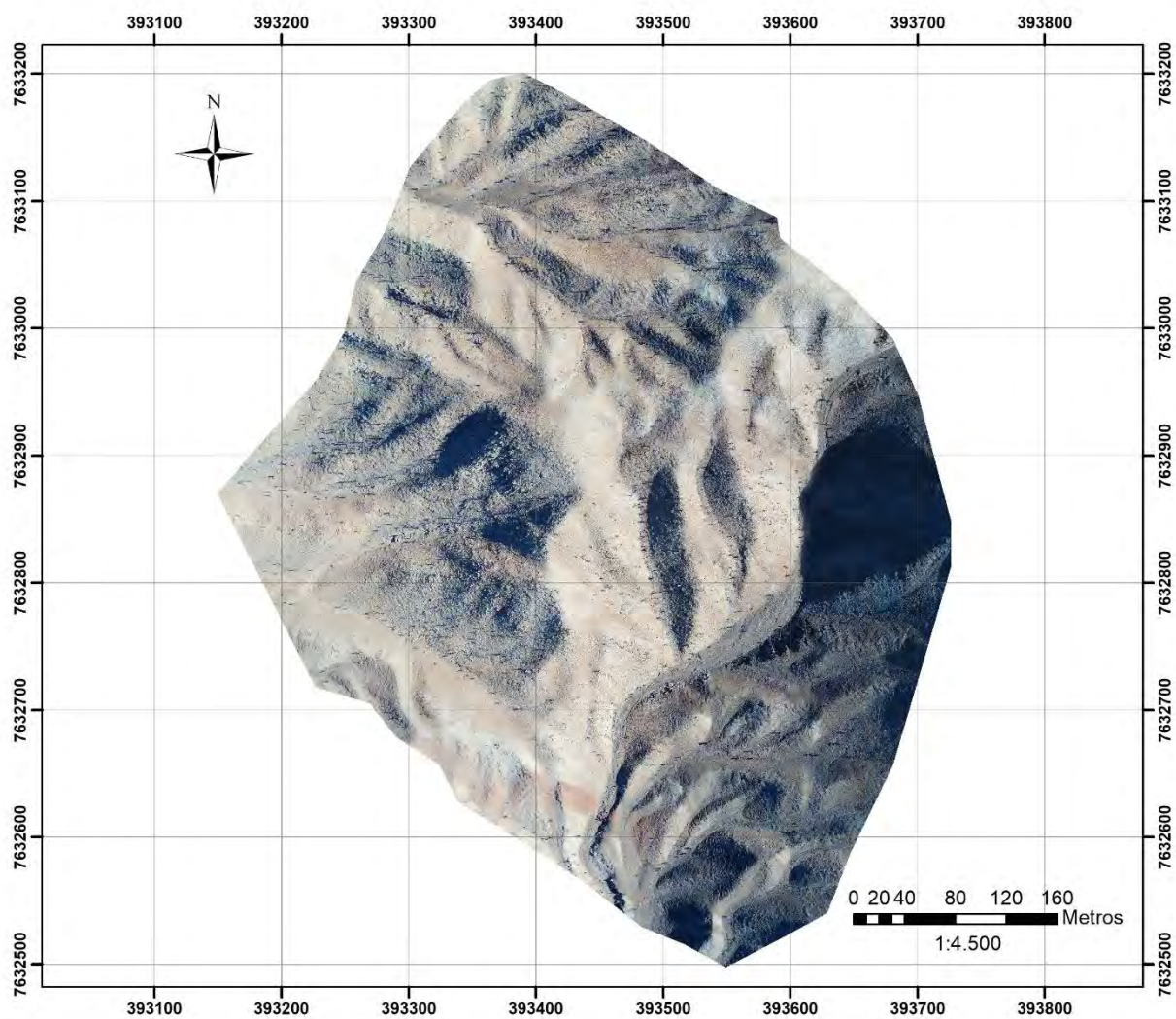


FIG. 33. Cuadrante 2 sector Loa sur, 24 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 25.53 Ha.

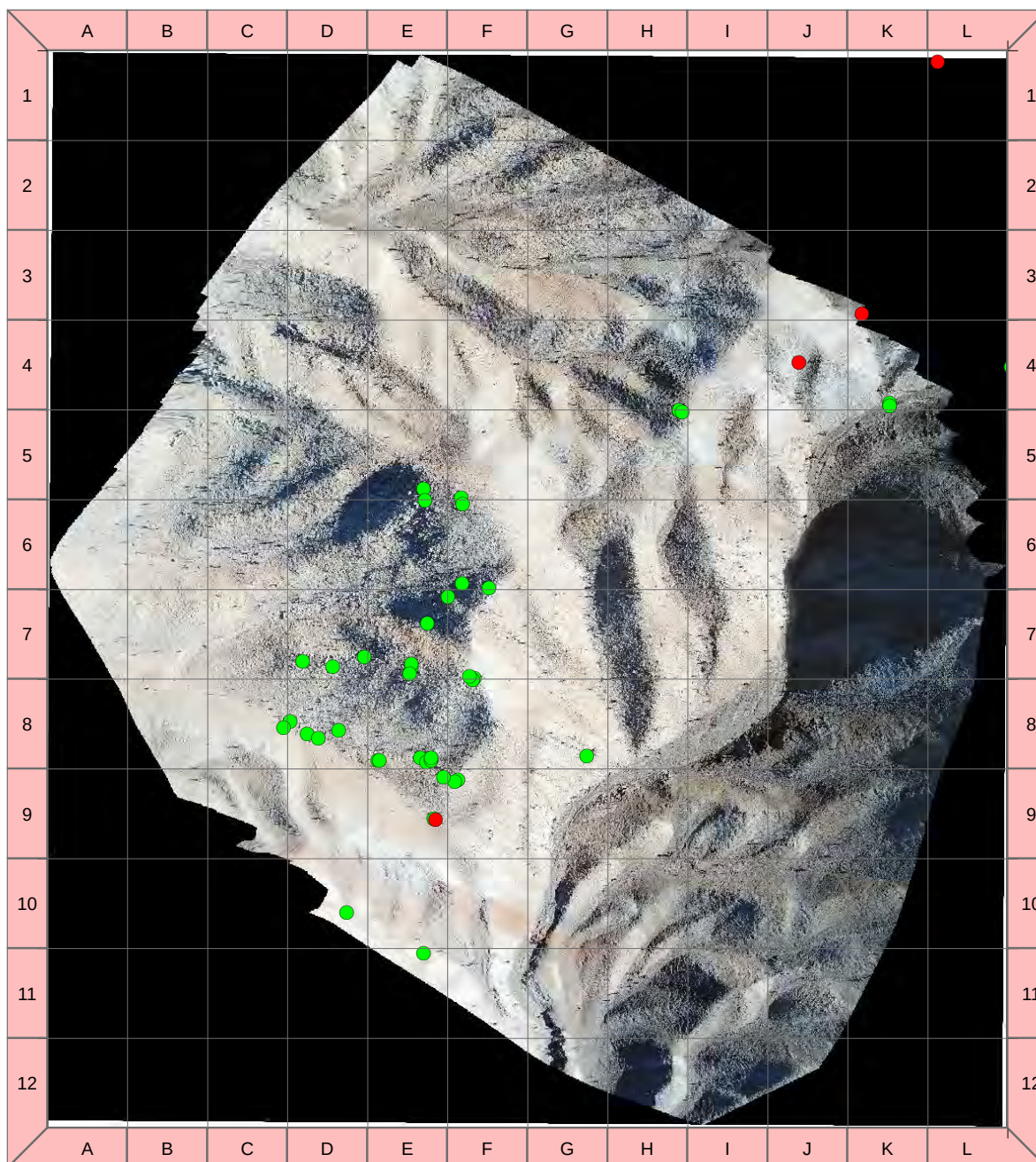


FIG. 34. Grilla del cuadrante 2 sector Loa sur, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

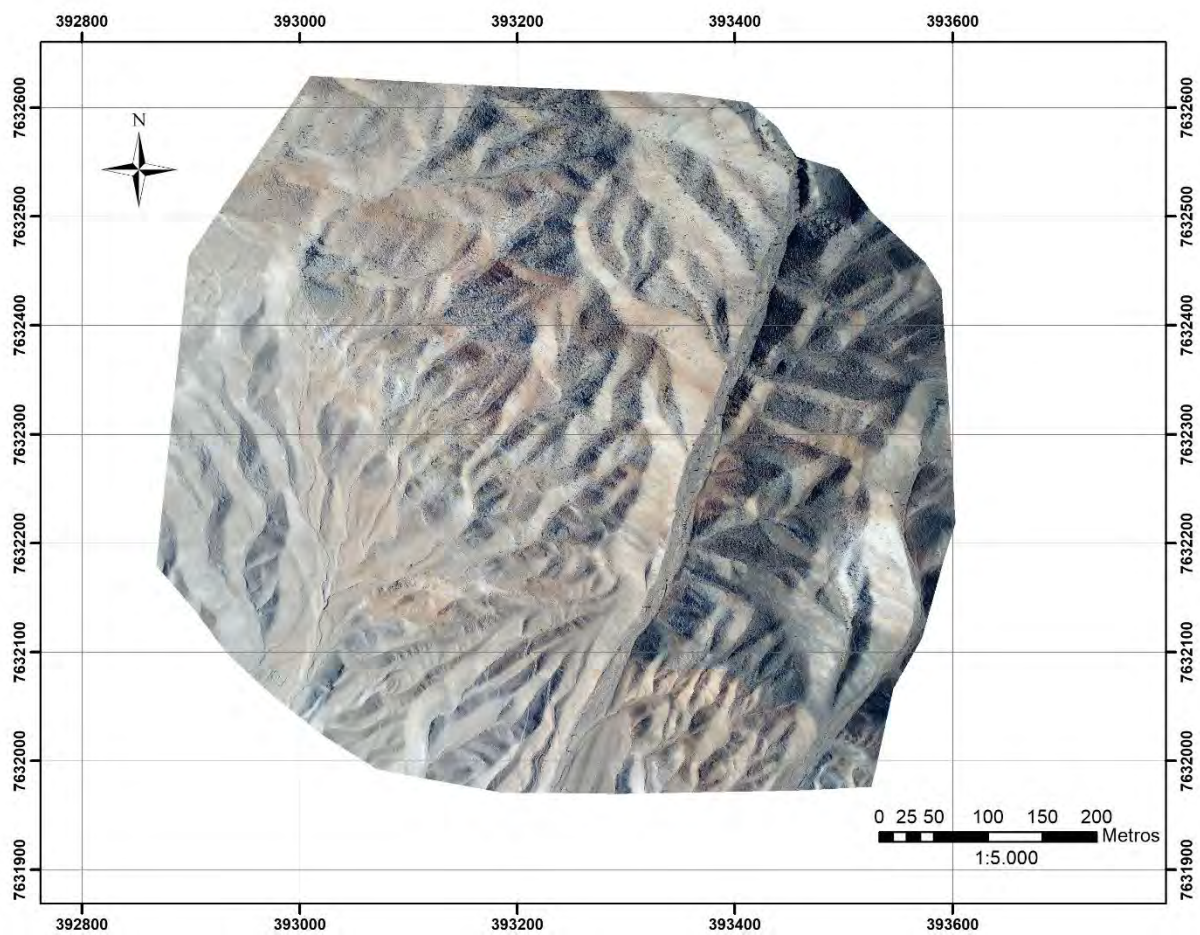


FIG. 35. Cuadrante 3 sector Loa sur, 24 de febrero 2019. Proyección Universal Transversal Mercator Zona 19 S - Datum WGS 84. Área 40.64 Ha.

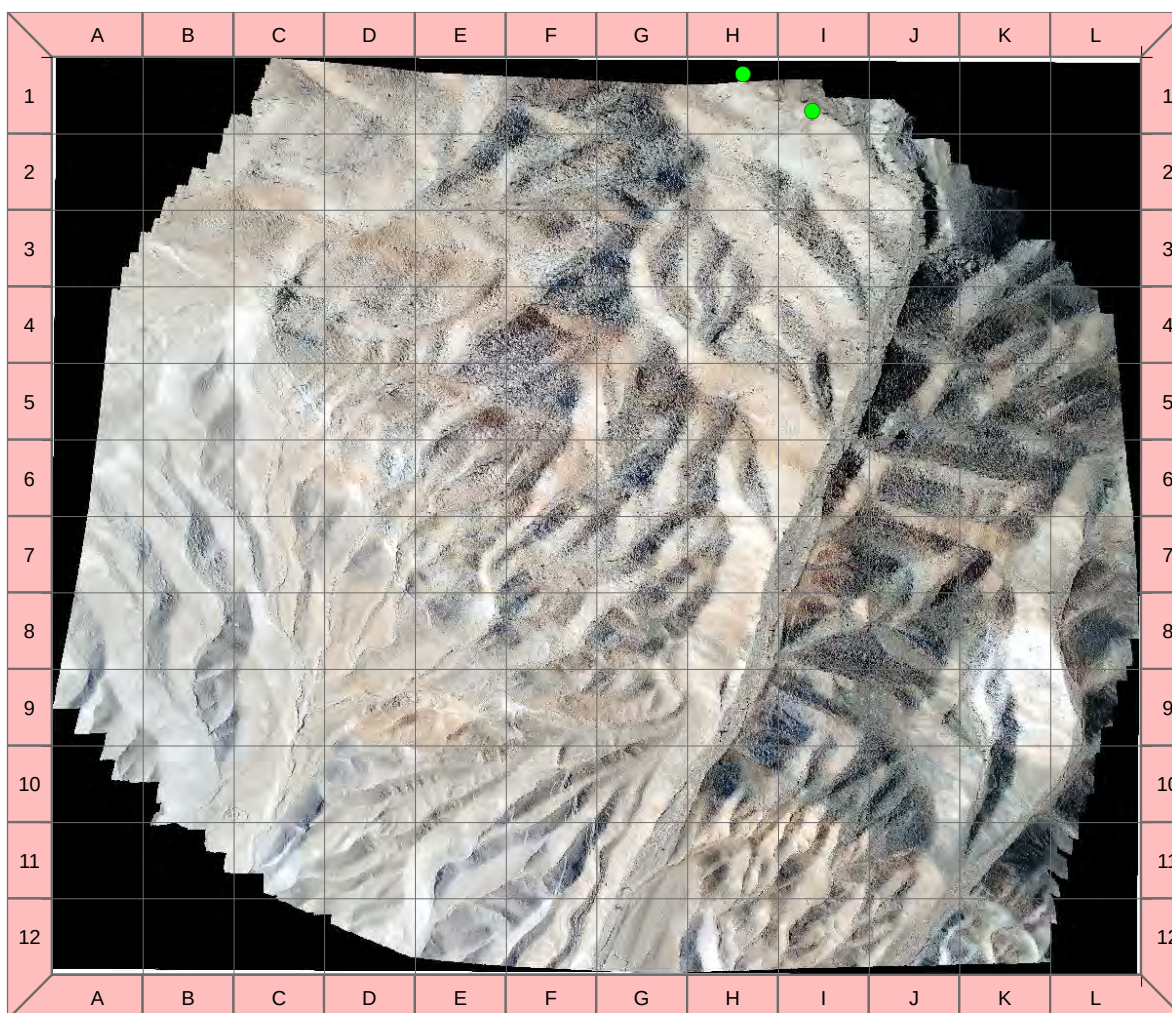


FIG. 36. Grilla del cuadrante 3 sector Loa sur, utilizado para el análisis digital. Los puntos de colores indican los ejemplares muestreados (verde=vivo, rojo=muerto).

ANEXO III

METODOLOGÍA DE IMÁGENES AÉREAS

La metodología usada para el levantamiento y análisis de datos de la zona de estudio comprendió tres etapas:

1. Registro de datos en terreno

La toma de datos en terreno consideró la utilización de la técnica de Fotogrametría con Drón, en base al vuelo y captación de fotografías de la zona de estudio. Posteriormente, estas imágenes se procesaron mediante programas específicos para la obtención de los modelos 3D y Ortomosaicos, de acuerdo a los pasos siguientes:

- a. Aeronave (Drón): se utilizó un drón marca DJI, modelo Phantom 4, equipado con una cámara con sensor CMOS de 1" de 20 Megapíxeles, con FOV de 94° y lente de longitud focal de 20 mm (equivalente a formato de 35 mm) y f/2.8, con una capacidad de vuelo de 25 minutos y una velocidad máxima de 16 m/seg, con capacidad de trabajo hasta 6000 msnm, estabilizador de imagen y capacidad GPS.



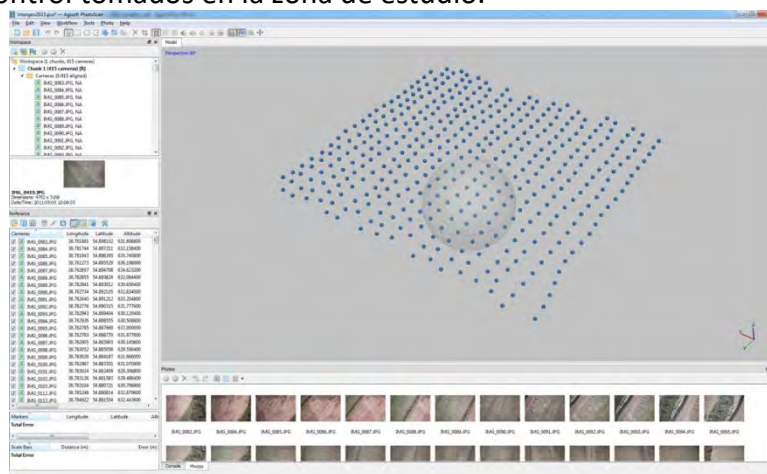
- b. Planificación del Vuelo: mediante el uso de una aplicación de vuelo como Pix4Dcapture, se creó un plan de vuelo para la captura de las imágenes desde un dispositivo móvil o tableta con la cual se controla la aeronave, de esta forma se identifica la ruta por donde el drón realizará el vuelo para captar las imágenes, además se establecen los ajustes necesarios como altitud de vuelo, solapamiento de imágenes, inclinación de la cámara, velocidad de desplazamiento y número de fotos por punto



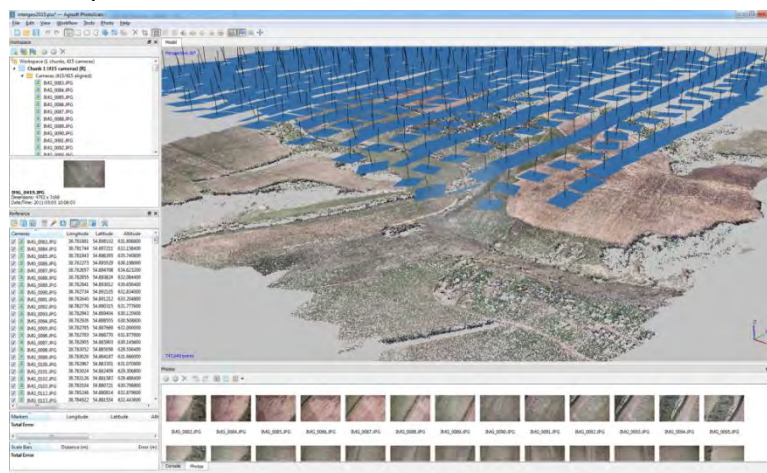
- c. Puntos de Control: los puntos de control permiten la correcta georreferenciación del producto final obtenido, y consisten en una serie de puntos de coordenadas conocidas y reconocibles en las fotografías con los cuales fue posible obtener la orientación y georreferenciación del modelo u ortomosaico.

2. Procesamiento digital de imágenes

Para el procesamiento digital de las imágenes obtenidas se utilizaron softwares que permiten generar nubes de puntos densos georreferenciados a partir de las imágenes las cuales fueron tomadas con un solapamiento de entre un 60% a 80% y que contienen la información espacial de donde fueron adquiridas, con lo anterior se generaron tanto modelos digitales de elevación como ortomosaicos con gran precisión al incorporar los puntos de control tomados en la zona de estudio.



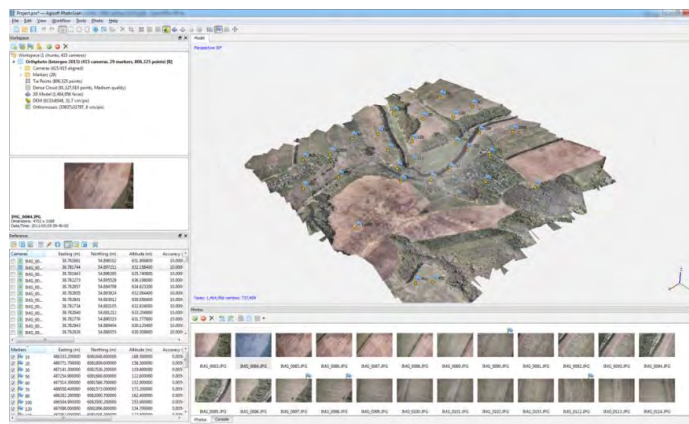
En el software las imágenes se alinearon respecto de su georreferenciación y solapamiento, identificando los puntos coincidentes de las imágenes para construir posteriormente una nube de puntos dispersos.



Los puntos de control se utilizaron para optimizar las posiciones de la cámara y los datos de orientación, lo que permitió obtener mejores resultados de referencia. Para generar los ortomosaicos georreferenciados con buena precisión, es necesario tomar al menos 10-15 puntos de control en el suelo, los cuales se distribuyeron uniformemente dentro de la zona de estudio.

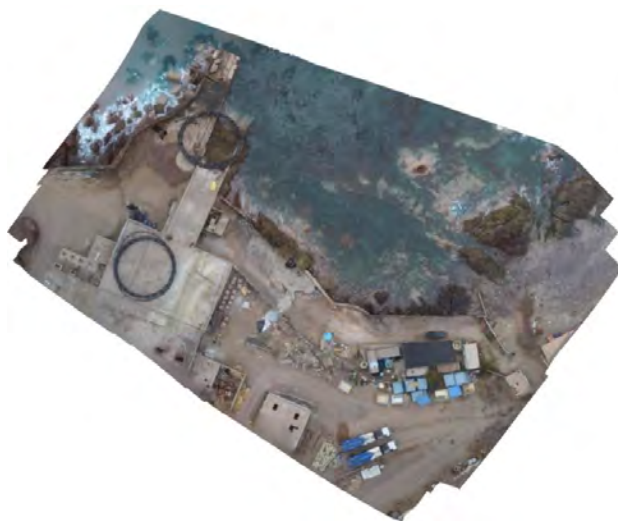
Una vez alineadas las imágenes y creada la malla de puntos se generó una nube de puntos densos con la cual fue posible generar posteriormente la malla final

georreferenciada con la geometría de la zona de estudio de acuerdo a las imágenes procesadas.



Finalmente, se procedió a realizar la exportación de la ortofoto construida a partir de las imágenes en formato GeoTiff o Tiff, la cual se incorporó al SIG para su posterior análisis.

El resultado final obtenido del procesamiento fue similar a la siguiente ortofoto:



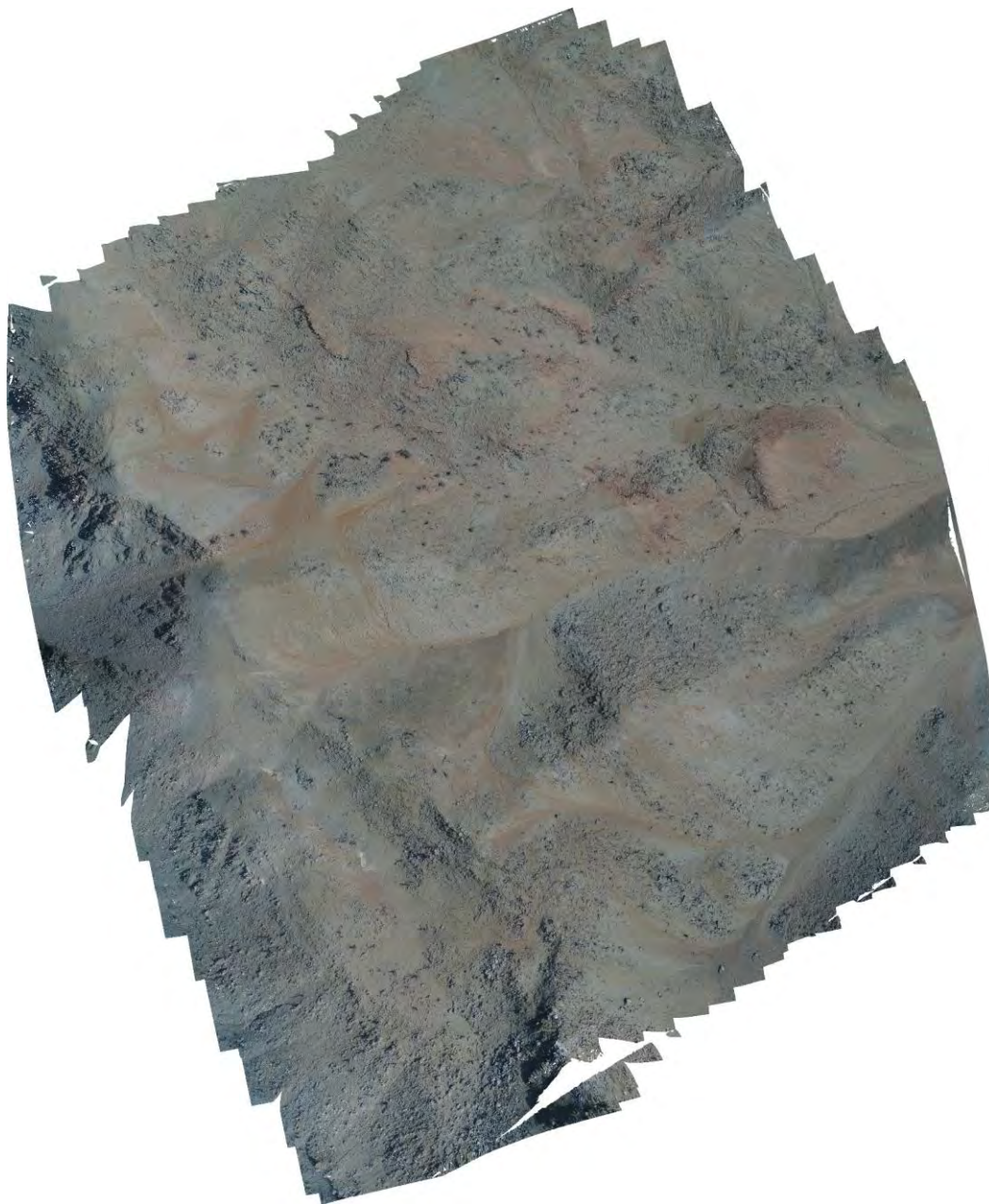
3. Representación georreferenciada de imágenes en SIG

Una vez procesadas las imágenes y generadas las ortofotos de la zona de estudio, se procedió a su análisis en un sistema de información geográfica (SIG), con el cual se realizó la estimación del área recorrida por el dron en cada cuadrante, identificando y caracterizando cada uno de los ejemplares de *Eulychnia iquiquensis*.

EJEMPLO INFORMACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Agisoft PhotoScan Chipana Norte 1

Processing Report 03 February 2019



Survey Data

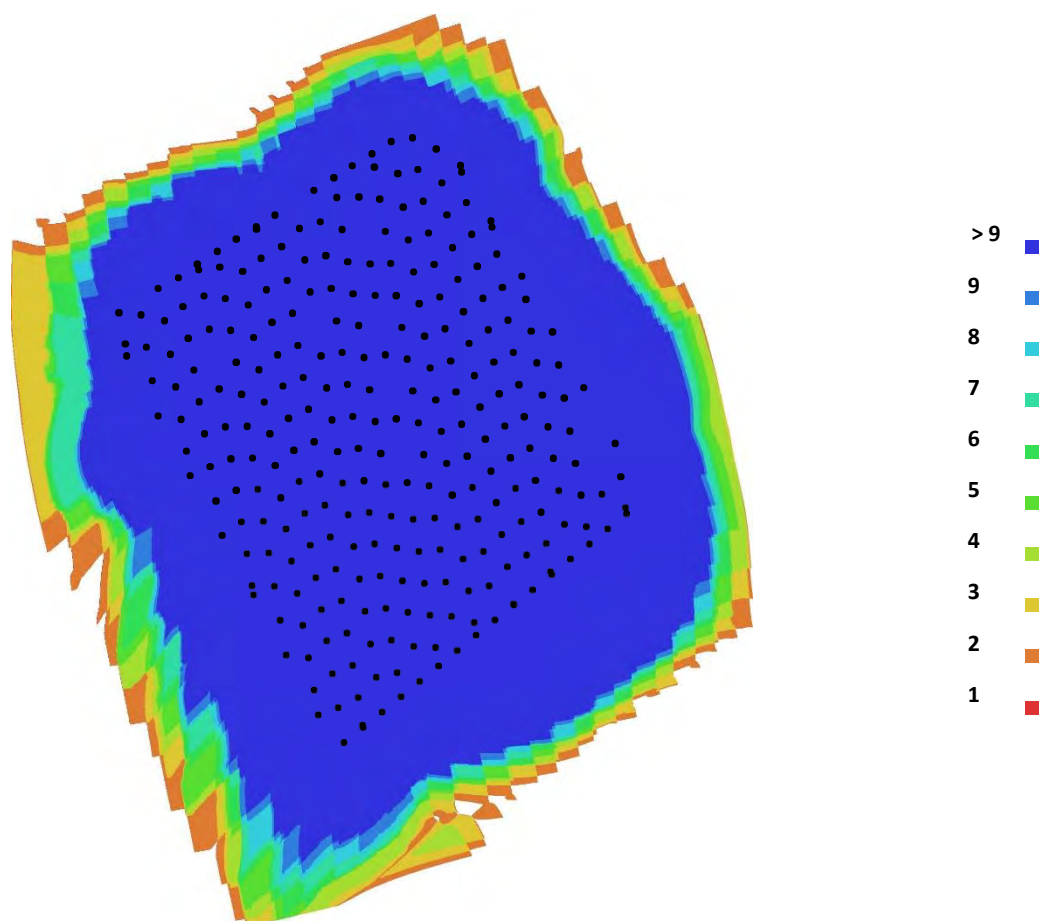


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	283	Camera stations:	283
Flying altitude:	112.654 m	Tie-points:	994019
Ground resolution:	0.0266789 m/pix	Projections:	4862351
Coverage area:	0.150957 sq km	Error:	0.664948 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8 mm)	5472 x 3648	8.8 mm	2.41228 x 2.41228 um	No

Table. 1. Cameras.

Camera Locations

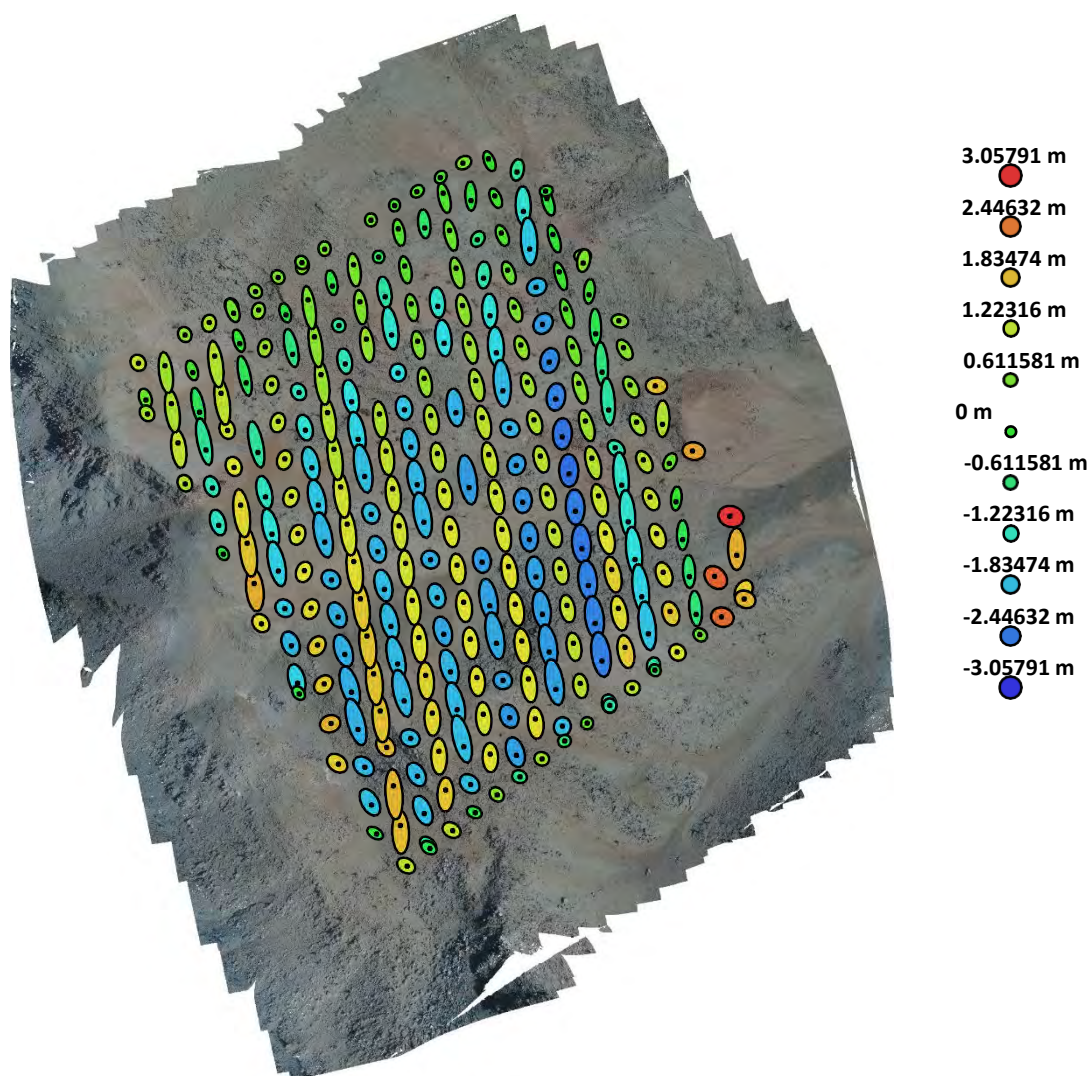


Fig. 2. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total error (m)
0.863469	4.362561	1.434563	4.672846

Table. 2. Average camera location error.

Digital Elevation Model

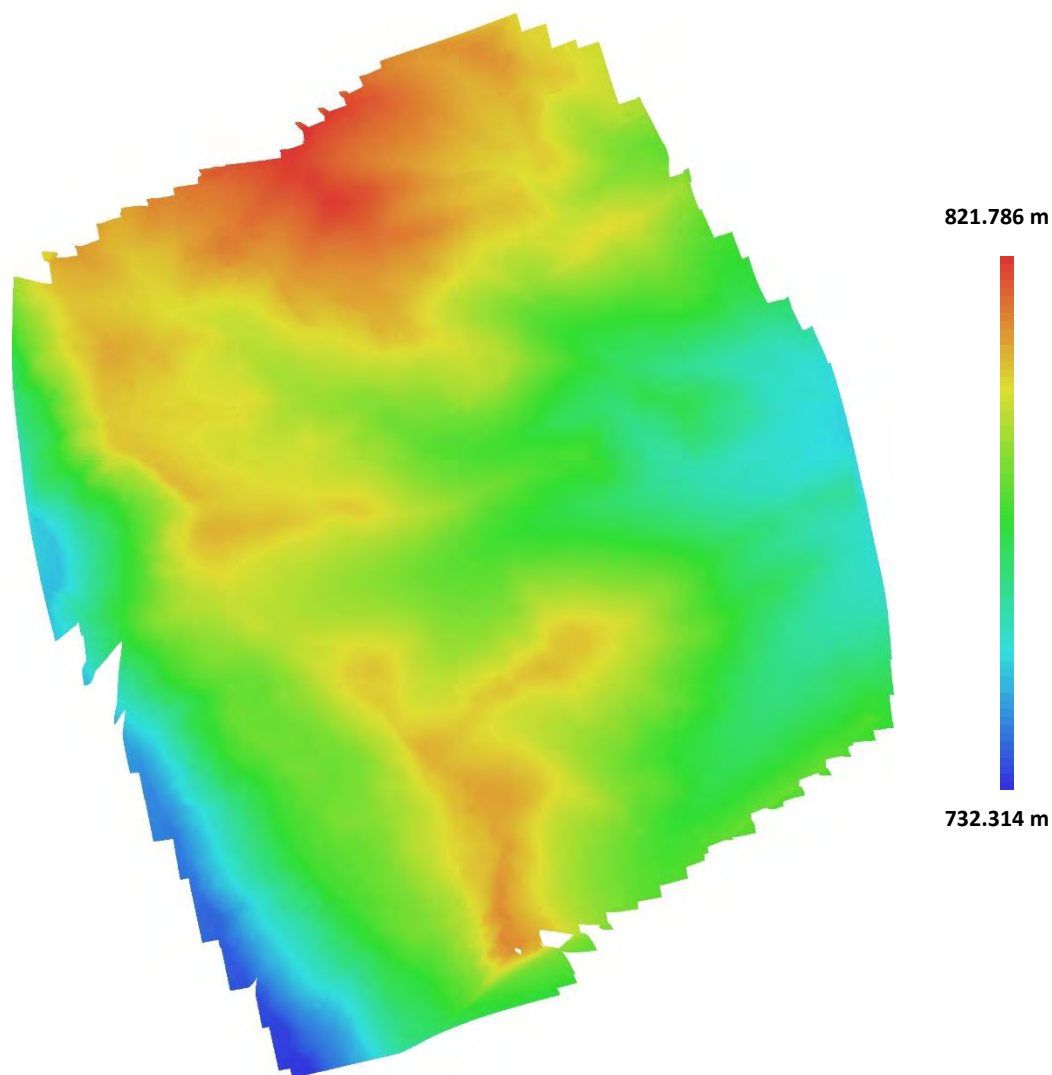


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 0.106716 m/pix
Point density: 433.006 points per sq m