



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | MICHESQUEL



“Análisis cualitativos en el proceso de comprensión de estructuras geológicas para la prospección hidrogeológicas mediante dos técnicas disímiles de obtención de imágenes”

Bach. Irene Balado Bauzá

Montevideo, Uruguay

2020

COTUTORES:

Fac. de Ingeniería:

Ing. Agrim. **Hebenor Bermúdez**

Fac. de Ciencias:

Ing. Agr. **Jorge Spoturno**



PÁGINA DE APROBACIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA:

El tribunal docente integrado por los abajo firmantes aprueba la Tesis de Investigación:

Título:

“Análisis cualitativos en el proceso de comprensión de estructuras geológicas para la prospección hidrogeológicas mediante dos técnicas disímiles de obtención de imágenes”

Autora:

Irene Balado Bauzá

Tutores:

Agrim. Hebenor Bermúdez (Fac. de Ingeniería) y Ing. Agr. Julio Spoturno (Fac. Ciencias)

Carrera:

Tecnólogo en Cartografía

Puntaje:

11

Tribunal:

Profesora: Dra. Karina Pamoukaghlian

Profesora: MSc. Gabriela Fernández

Profesor: MSc. Eduardo Vázquez

Fecha:

3/8/2020

Gabriela Fernández
1697886-7

Eduardo Vasquez
6.148.736-6

Karina Pamoukaghlian
2:822.332-9



Ⓐgradecimientos

Agradecimiento especial a mis amigas y amigos.

A la docente Gabriela Fernández por este proceso personal de construcción de trabajo final.

A los tutores Hebenor Bermúdez y Jorge Spoturno por su paciencia y disposición permanente.

A mi madre, a mi padre y mis hermanas por su apoyo y eternos debates filosóficos.

¡Ánimo gente!



Índice

	Página
Introducción	5
Glosario General	7
Objetivos:	
Generales y Específicos	9
Planificación y metodología	10
Área de estudio:	
Ubicación	11
Morfología del área	15
Red hídrica	19
Otros aspectos climáticos	22
Aspectos Biológicos en el área	
Ambiente antrópico y Población	25
Actividades productivas en el área	26
Antecedentes:	
Geológicos	27
Hidrogeológicos	32
Históricos	34
Fotointerpretación	35
Metodología	37
Especificaciones:	
Ortomosaico	39
Fotos aérea	40
Limitaciones	41
Hidrogeología y parámetros de análisis	42
Resultados	48
a) Ortomosaico Escala 1:20000	49
b) Ortomosaico escala 1:5000	54
c) Fotointerpretación de fotos aéreas 1:20000	64
Análisis comparativo de los resultados	68
Conclusiones	71
Bibliografía	73
Anexo	77

Índice de Figuras

FIG.	Descripción	Página
0	Representación del rumbo y buzamiento para un estrato geológico	7
1,2,3,4	Ubicación de Uruguay en América del Sur, área de estudio general y local.	11-14
5 ^a y 5b	Fotografías y Mapa morfología del Uruguay	15-17
6	Mapa geomorfología de Maldonado	18
7	Mapa cuencas hidrográficas	19
8	Mapas Isoyetas	21
9	Mapa presión atmosférica	22
10	Mapa velocidad del viento	23
11	Mapa temperaturas medias anuales	24
12	Mapas principales modelos tectonoestratigráficos de Uruguay	29
13	Mapa geológico de Maldonado	30
14	Mapa geoestructural de Maldonado	31
15	Mapa Hidrogeológico	33
16	Análisis de tipos de esfuerzos tectónicos	43
17	Descripción análisis fracturamiento	46
18	Persistencia	46
19	Imagen del área de estudio para exposición de resultados	48
20	Imagen área relevada escala 1:20000 del Ortomosaico	50
21	Histograma fracturamiento en función de interconexiones 1:20000	52
22	Rosa de los vientos de dirección del fracturamiento 1:20000	53
23	Imagen relevamiento y área del ortomosaico a escala 1:5000	61
24	Histograma fracturas en función de interconexiones 1:5000	62
25	Rosa de los vientos de dirección del fracturamiento 1:5000	63
26	Imagen de las fotos aéreas fotointerpretadas, escaneadas y digitalizadas	65
27	Histograma fracturamiento en función de interconexiones 1:20000	66
28	Rosa de los vientos con direcciones del fracturamiento 1:20000	67
29	Análisis comparativo de los resultados	70
30-36	ANEXO: Tabla análisis estadístico fotos aéreas	77 - 97



Introducción

En esta última década el proceso de captación de información mediante la utilización de aviones no tripulados (UAV) ha ganado gran popularidad para la recolección de datos de uso civil.

A medida que la calidad de las imágenes ha ido incrementándose, se realizan más investigaciones con el fin de incrementar las áreas de aplicabilidad a esta metodología de toma de datos.

En este trabajo se realizará un análisis comparativo de calidad de fotointerpretación de dos tipos de imágenes: la fotografía aérea y las imágenes digitales tomadas por VANT (comúnmente denominado DRON, que es un vehículo aéreo no tripulado).

Existen para los Drones dos tipos de plataformas, aviones de ala fija y multimotores. Aquellos que presentan ala fija precisan de un área de despegue y aterrizaje mayor que los multimotores, puesto que en estos últimos el proceso se realiza verticalmente.

El método convencional de toma de fotografías aéreas consiste en la toma sucesiva de fotografías desde un avión tripulado, con una cámara métrica y se espera que ciertos parámetros de vuelo puedan ser controlados o corregidos con posterioridad por Ej. Alabeo, fotografía vertical, altura del vuelo constante, distancia focal.

Desde el inicio de capturas de imágenes aéreas, éstas han sido utilizadas como parte de la metodología para la prospección hidrogeológica. Mediante la fotointerpretación tanto en las fases de gabinete como la visita en campo del lugar de estudio se busca el reconocimiento de estructuras geológicas como: fallas, cizallas, pliegues, diaclasas, lineamientos, conectividad entre fallas, entre otras, para la localización del recurso hídrico, en acuíferos fisurado.



En Uruguay las fotografías aéreas de escala Nacional utilizadas en este trabajo corresponden al generado de forma conjunta por varios organismos gubernamentales durante los años 1966 y 1967 para la confección de diversas cartografías a nivel Nacional, como fue el mapa Nacional de Suelos, de Geología entre otros. El primer vuelo se realizó a escala 1:40000 y el segundo a escala 1:20000 (con el éste último se trabajará en este proyecto). Durante el gobierno de facto y el proceso de dictadura cívico militar de la década del 70' a 80', el servicio geográfico militar toma posesión de los negativos de los vuelos nacionales y en la actualidad comercializa con las mismas y su divulgación.

Eventualmente se han realizado vuelos que no han comprendido el total del territorio Nacional, por Ej. El vuelo fotogramétrico realizado en 1987 sobre el departamento de Montevideo y Canelones producto de su gran desarrollo urbano desde el vuelo nacional realizado 20 años antes al último vuelo Nacional, realizado en 2017.

Sin embargo, se han comenzado a utilizar también las imágenes satelitales del Google Earth, por estar más actualizadas y ser RGB (a color).

Frente a la evolución de la recopilación de información remota, este trabajo pretende identificar si cualitativamente, se logra un mayor reconocimiento de estructuras geológicas para la prospección hidrogeológica, según diferentes estructuras plataformas de captura del dato.

Se utilizará para esta actividad las fotos aéreas del plan del vuelo nacional de los años 1966 y 1967 contrastándolas con las imágenes aéreas recolectadas por un VANT en el año 2017 -2018, para una misma área de estudio ubicada entre el arroyo Maldonado y La sierra de los Caracoles.

Glosario general

1. **Ma:** millones de años
2. **Ga:** Giga años, refiere a mil millones de años.
3. **Formación geológica:** es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes, puesto que presenta variaciones composicionales y estructurales respecto a las circundantes. Para su definición se espera la posibilidad de ser cartografía a una escala razonable de al menos 1:20000.
4. **Rumbo:** Se define rumbo a la medida de un ángulo horizontal, con respecto al Norte magnético de un plano o un linear de rocas Ej.: fractura falla foliaciones diversas, ejes de pliegue etc.
5. **Buzamiento:** Se define como el ángulo que forma la capa o estructura estudiada con un plano horizontal imaginario, medido en la línea de máxima pendiente de la capa. El sentido del buzamiento de un plano es el
6. ángulo que forma la proyección de la línea de máxima pendiente en un plano horizontal con el norte geográfico e indica hacia dónde se inclina la capa en relación con el norte, Fig. 0.



Fig. 0 Representación de Rumbo y Buzamiento.

7. **Rocas miloníticas y cataclásticas:**
8. La milonita es una roca metamórfica de grano fino formado por milonitización, un tipo de metamorfismo dinámico en el que el tamaño de grano de una roca es disminuido por cizallamiento dúctil.
9. Si ocurre en la fase frágil (en zona más externa de la corteza terrestre) se denomina cataclasis. De ahí que las rocas se denominen miloníticas o cataclásticas, respectivamente.
10. **Terreno tectónico:** se define a un terreno tectónico a una extensión de área, de un conjunto de paquetes rocosos delimitados por estructuras geológicas que permiten reconocer una evolución lito estratigráfica o tectonoestratigráfica diferenciable a su entorno.



11. **Roca metamórfica:** son rocas que sufren un cambio en su estructura y/o composición asociada a las variaciones de presión y temperatura luego de su consolidación.
12. **BIF:** son rocas sedimentarias que contienen al menos un 15% de hierro (Fe), y presentan una estructura formada por bandas, estando unas compuestas por el hierro, y las otras por sílice. El hierro suele aparecer en forma de óxidos, normalmente magnetita (Fe_3O_4) y hematita (Fe_2O_3).
13. **Metacaliza:** roca sedimentaria metamorfozada compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3) y al presentar composición predominancia de carbonato de magnesio (MgCO_3) se le denomina Metadolomía.
14. **Granitos:** es una roca ígnea plutónica compuesta mayoritariamente por cuarzo, feldespato, mica y plagioclasa (cuya variación dependerá del material ígneo fuente). Es la roca más abundante.
15. **Textura Gnéisica:** roca metamórfica de composición similar a la del granito (generalmente) formada en bandas diferenciadas en tono por su composición mineralógica.
16. **Esquisto: Término genérico para la descripción de** rocas metamórficas con estructura laminar ondulada e irregular (estructura esquistosa), con granos minerales observables a simple vista. Su composición mineral pueden: por moscovita, biotita, clorita, cuarzo, plagioclasa y minerales típicamente metamórficos como: cloritoide, estauroлита, andalucita, distena, granate, sillimanita, etc.
17. Existen distintos tipos de esquisto son descritos en función de su composición mineralógica principal, por ej. Esquisto micáceo o micaesquisto es aquella roca compuesta mayoritariamente por mica.
18. **Anfibolita:** rocas metamórficas de grado moderado a alto, compuesta esencialmente de hornblenda y plagioclasa. A. Miguez (2006)

Objetivos Generales

Realizar un análisis cualitativo en la comprensión de estructuras geológicas a partir de la fotointerpretación para la prospección hidrogeológica mediante dos técnicas: la fotografía aérea tradicional y las imágenes tomadas con un Dron (ortomosaico) de una misma área de estudio.

Objetivos Específicos

1. Realizar las observaciones estructurales geológicas propicias para la prospección hidrogeológica de un área comprendida entre la Sierra de los Caracoles y el arroyo Maldonado en el departamento de Maldonado por:
 - a. Fotointerpretación a partir de fotos aéreas de un vuelo fotogramétrico del año 1966- 1967 a escala 1:20.000.
 - b. Fotointerpretación de imágenes de Dron del año 2015 a escala 1:20.000
 - c. Fotointerpretación de imágenes de Dron del año 2015 a escala 1:5000

2. Comparar los resultados obtenidos en cada procedimiento realizado para cada uno de los conjuntos de fotografías aéreas y determinar de ser posible las ventajas y desventajas en cada una de ellas.

Cronograma: Gráfico tipo Gantt

<u>Actividades</u>	<u>Cronograma</u>				
	<u>Diciembre</u>	<u>Enero</u>	<u>Febrero</u>	<u>Marzo</u>	<u>Abril</u>
<u>Gabinete 1</u>					
Campo					
<u>Gabinete 2</u>					
Evaluación					
<u>Redacción</u>					

Las fases de Gabinete 1, Campo y Gabinete 2; se describen en la sección siguiente, metodología.



Metodología

El trabajo consta de fase de gabinete y salida de campo que se describen a continuación:

Fase de gabinete 1:

Relevamiento bibliográfico sobre los vuelos no tripulados y su evolución en el país.

Origen de las fotografías aéreas de los años 66-67.

Relevamiento bibliográfico de los aspectos físicos, biológicos y de actividad humana sobre el área de estudio.

Se recaba información sobre el vuelo y la generación del ortomosaico del área de estudio, realizado por la empresa UAV agrimensura en el año 2015.

Se consiguen las fotos aéreas del año 1966-1967 del área de estudio, tanto las pertenecientes al área misma como sus subsiguientes para la realización de la fotointerpretación.

Fotointerpretación a partir del ortomosaico brindado, determinación y descripción de estructuras geológicas. Elección de puntos de control para ir a campo.

Fotointerpretación a partir de las fotografías aéreas brindadas por el SGM determinación y descripción de estructuras geológicas. Elección de puntos de control para ir a campo.

Fase de campo:

Realización de una salida de campo al lugar de estudio de los lugares previamente seleccionados tanto por la fotointerpretación del ortomosaico como a partir de las fotografías aéreas.

Valoración de los aspectos físicos, biológicos y de actividad humana descriptos y estudiados bibliográficamente.

Fase de Gabinete 2:

Actualización de bibliografía

Procesamiento y evaluación de los datos obtenidos

Interpretación de los resultados, conclusiones y redacción del informe final

Área de Estudio

Se trabaja en el país Uruguay en el Departamento de Maldonado, Fig. 1 y Fig. 2.

El área de estudio corresponde a la zona comprendida entre la Sierra de los Caracoles y el arroyo Maldonado y el Arroyo San Carlos, ubicada en el Departamento de Maldonado – Uruguay, a unos 30 Km de su capital que lleva el nombre homónimo. Pertenece a la hoja topográfica D – 25 escala 1:50000, con nombre “Sierra de los Caracoles” ver fig. 3.

La zona presenta un conjunto de Rutas Nacionales y Departamentales que permiten su acceso. Al Sur se encuentra la Ruta Nacional N° 9, al Este la Ruta Departamental N° 39 y al Oeste la N.º 12, se extiende al Norte hasta el Departamento de Lavalleja, ver fig. 4.

El trabajo se ubica entre las coordenadas en la zona noroeste del área son -54,92619, -34.55866 a -54.92089,-34.55946 y en la zona sureste -54.93278,-34.76424 a -54.91542, -34937 con un área total de aproximada 20 km².



Fig. 1 Se destaca en color verde la ubicación de Uruguay en América del Sur.

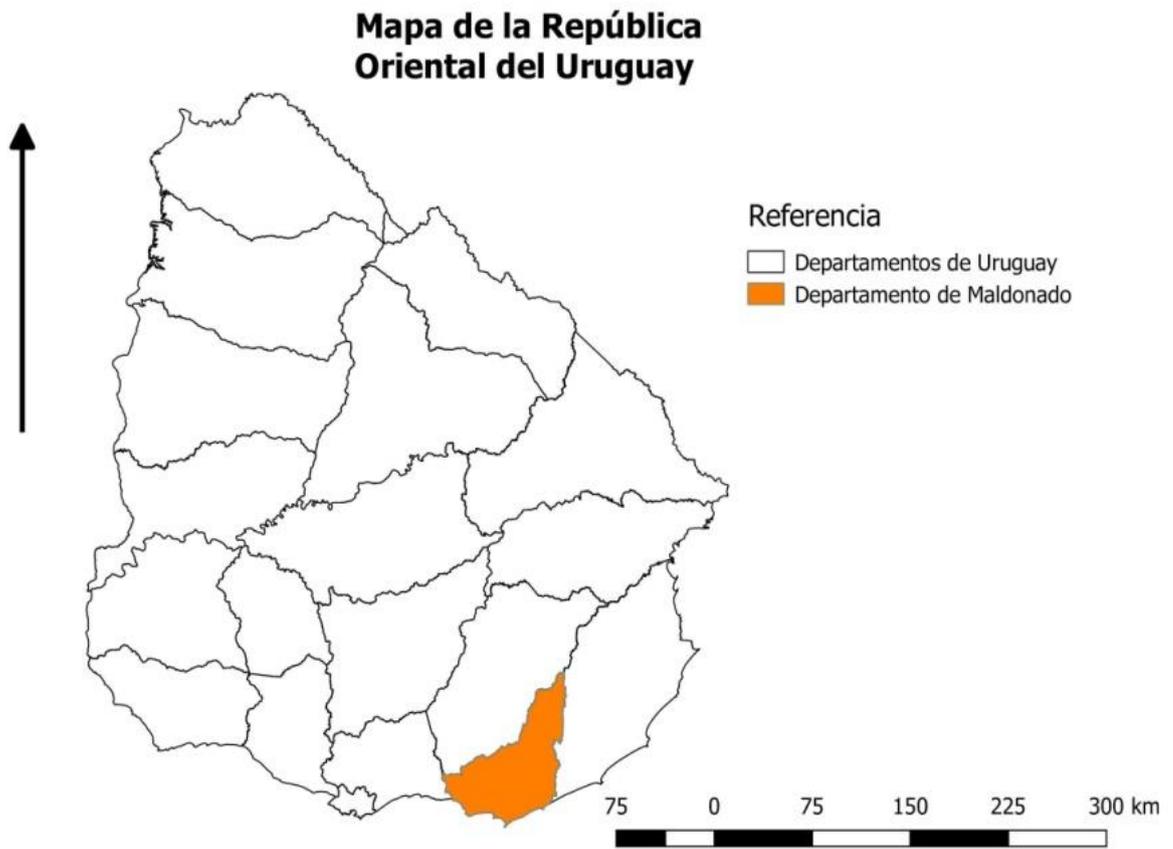


Fig. 2 Departamento de Maldonado sobre el cual se trabajará para el estudio.

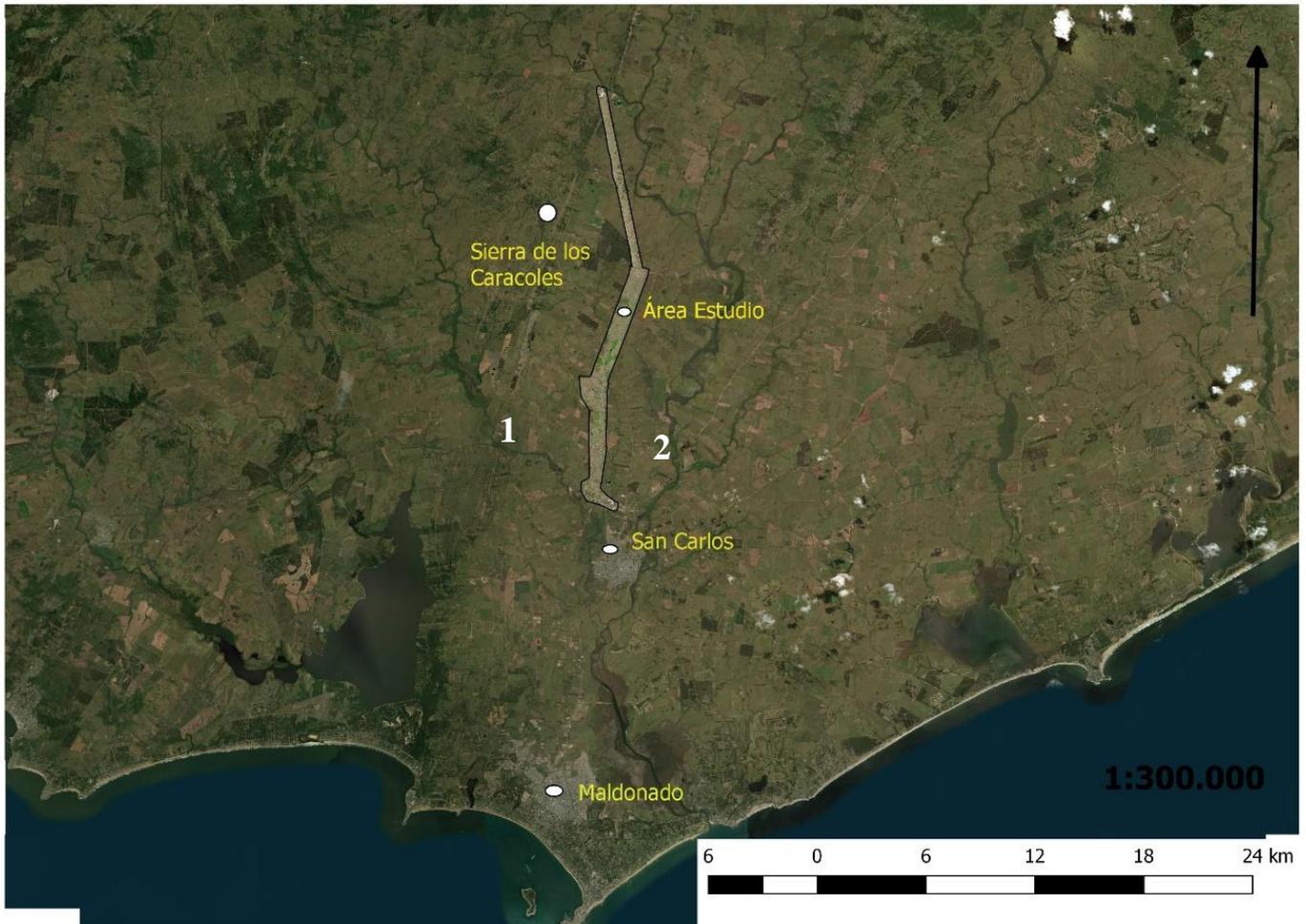


Fig. 3 Localización de la Sierra de Caracoles (al Norte de la imagen) y la capital Departamental de Maldonado con nombre homónimo. Con el número 1, se encuentra representada el curso Arroyo Maldonado y con el número 2, el curso Arroyo San Carlos. Estos arroyos se comportan como los límites Oeste y Este del Área de estudio respectivamente.



Fig. 4 Mapa de localización del Área de Estudio representada con las imágenes del vuelo fotogramétrico y mapa a escala 1:150000 de la ubicación al Sur de Uruguay.

Morfología del área

La zona de estudio pertenece geomorfológicamente al área de “Lomadas y colinas del Este” definidas por J. Chebataroff, Fig. 5b.

El área de estudio está caracterizada principalmente por dos tipos de geomorfologías. Por un lado, se hallan zonas más elevadas que conforman lomadas y colinas y por otro zonas de planicie aluvial asociado a los márgenes del Arroyo Maldonado y San Carlos. Ver mapa geológico de Maldonado Fig. 5ª y Fig. 6.

Así mismo según el mapa geomorfológico realizado por Spoturno et al. (2012), el área de estudio Fig. 6 se clasifica como una zona ondulada con cerros asociados, pero presenta también un área clasificada como planicie de inundación interior y una zona de planicie costera.





Fig. 5a. Imágenes del área de Estudio. Mediante estas tres fotografías se pretende permitirle al observador un panorama de las variaciones topográficas del área entre, las zonas serranas ubicadas generalmente hacia el fondo de las imágenes, las formas onduladas del terreno de menor expresión vertical y también las zonas de planicie y monte nativo circundante. En Las tres fotografías puede observarse las pasturas y vegetación serrana.

MAPA GEOMORFOLOGICO

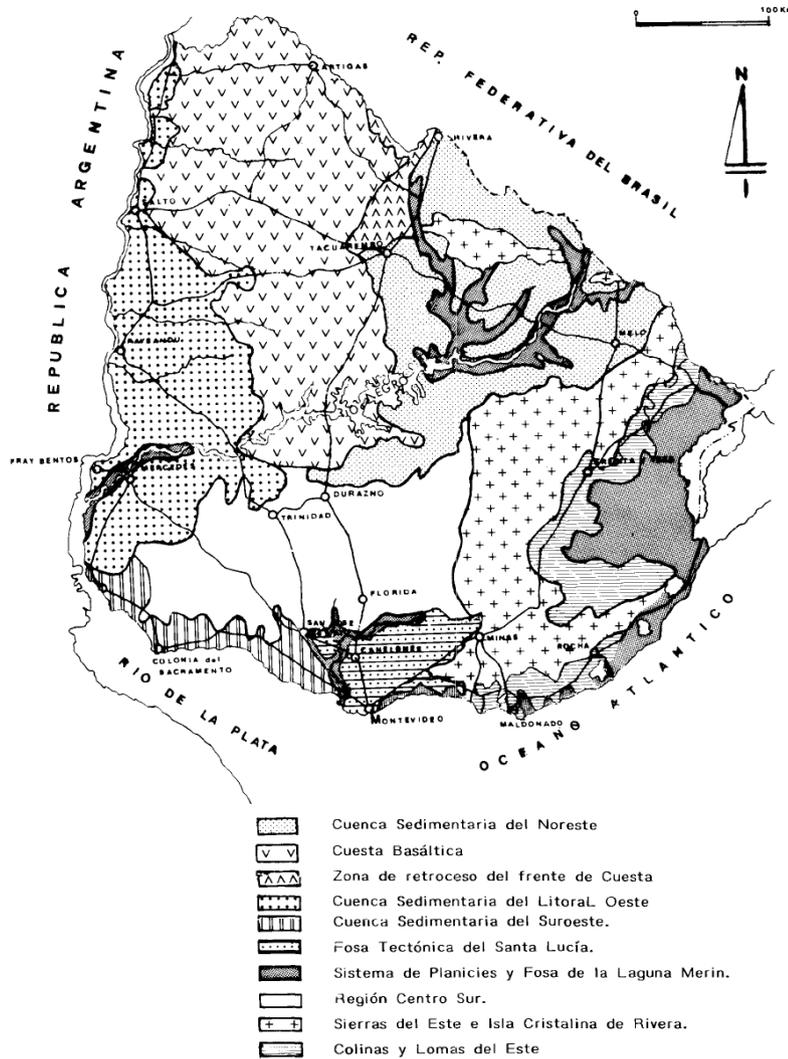


FIG. 2.1-1

9

Fig. 5b Mapa Geomorfológico de Uruguay.

Fuente: Chebataroff, J.; Relieve y Costas, Nuestra Tierra. Montevideo - 1969.

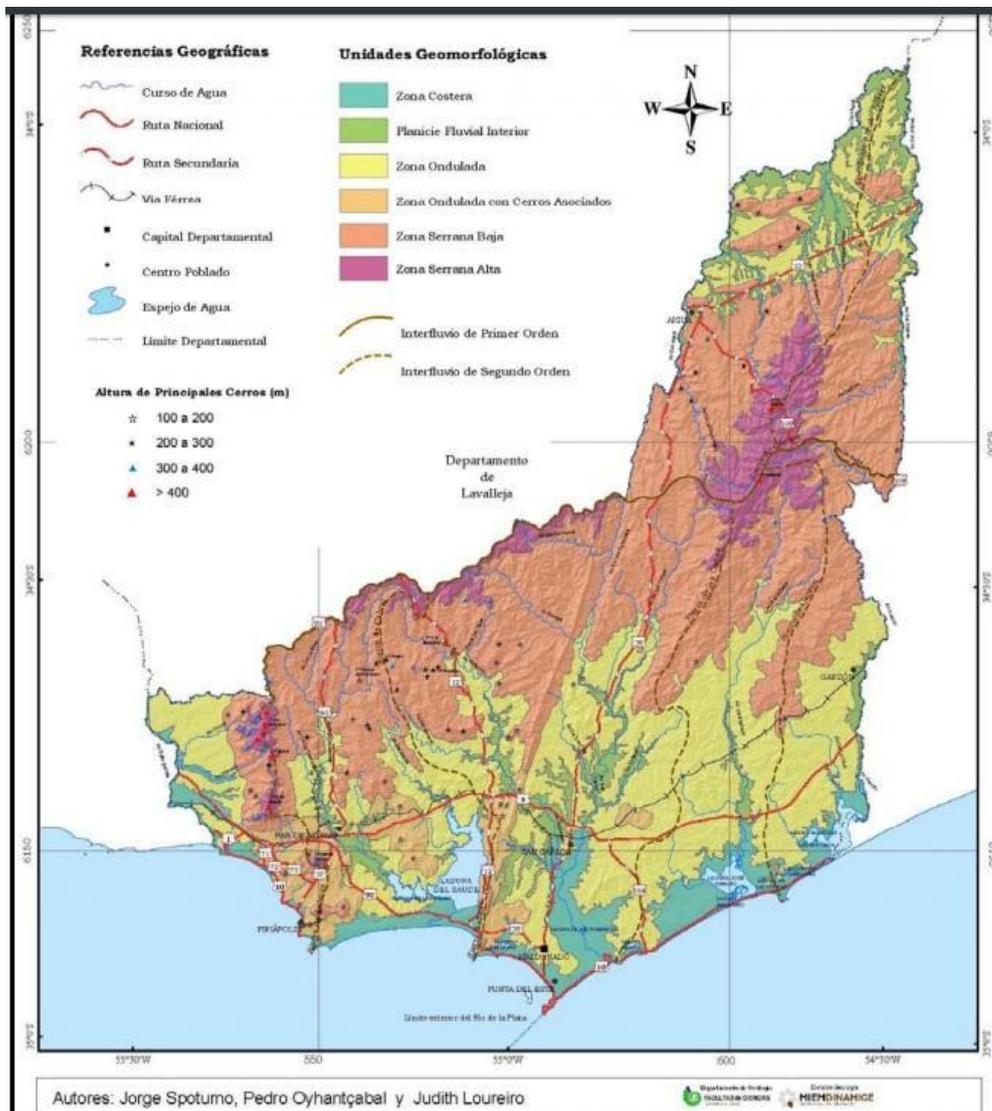


Fig. 6 Mapa geomorfológico de Maldonado, realizado por J. Spoturno, P. Oyhançabal y J. Loureiro. Según el cual, el área de estudio pertenece a la zona ondulada con Cerros Asociados.

Red Hídrica

En el ciclo del agua parte del agua que proviene de las precipitaciones se evapora, otra escurre superficialmente y parte de la misma también infiltra al sistema subterráneo.

Una cuenca hidrográfica es una porción de la superficie terrestre cuyas aguas superficiales convergen hacia un curso hídrico principal y sus afluentes. Sus límites están condicionadas por las denominadas divisorias de agua (zonas de cambio de la pendiente del terreno) Fig. 7. A excepción de la cuenca Laguna Merín ubicada al sureste de Uruguay y compartida con Brasil. Las otras 5 cuencas del Uruguay: Cuenca Santa Lucía, Cuenca del Río Negro, Cuenca del Río Uruguay, son subcuencas de la gran Cuenca del Plata que

presenta una extensión de $3.100.000 \text{ km}^2$ (la quinta más grande del mundo). Conforman esta gran cuenca el conjunto de ríos de cinco países Bolivia, Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay. Estudio Ambiental Nacional-OEA 1992.



Fig. 7 Se visualiza el mapa de las Cuencas hidrográficas del Uruguay. En Rojo se resalta el área de estudio. Fuente: <http://www.meteorologia.com.uy/ServCli/pluvio>

La Gran Cuenca Del Plata vierte un volumen hídrico con abundante cantidad de sedimentos que decantan sobre los márgenes de Argentina y Uruguay, extendiéndose hacia el Océano Atlántico, por intermedio de un estuario Fig. 7.

Además pertenecen a la Cuenca del Río de la Plata también parte de la masa continental al Sur de Buenos aires, Argentina y sur de Uruguay.

El punto 2 del mapa de Cuencas Fig. 7, denota que el área de estudio pertenece a las Cuenca del Rio de la Plata y La Cuenca Atlántica, esto se debe a que se determina una línea imaginaria entre Punta del Este y Punta Rasa ubicada en la Rep. Argentina que por convención separan entre Argentina y Uruguay, el Rio de la Plata y el Oc. Atlántico.

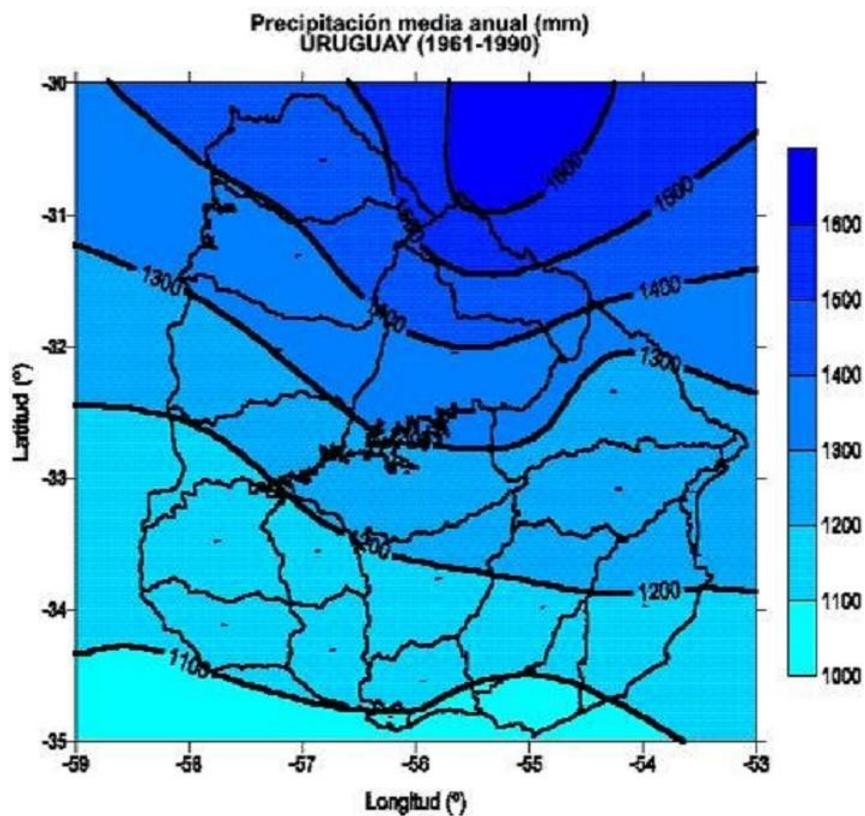
El área de estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del Arroyo Maldonado, el cual recorre prácticamente de Norte a Sur todo el departamento homónimo, y que a su vez es parte de la Cuenca Oceánica Atlántica. La red de drenaje escurre hacia las cercanías de su desembocadura donde conforma un bañado, estructura que se generó a partir del cierre de una barra costera por intermedio de una regresión marina.

OTROS ASPECTOS CLIMÁTICOS

Pluviometría

La pluviometría del área entre los años 1961 – 1990 presenta un volumen anual de 1100 mm al año, perteneciendo a la zona con menor tasa de pluviosidad del país, Fig. 8.

Isoyetas medias anuales (mm) 1961 - 1990



Fuente de datos: Dir. Nal. Meteorología

Fig. 8 Mapa de Isoyetas medias anuales (mm) 1961 –1990, DINAMA.

Fuente: https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales

Presión atmosférica, Viento y Temperatura

La presión atmosférica media anual en el área serrana corresponde al de mayor presión del territorio uruguayo con valores mayores a 1015,4 hPa, Fig. 9 los valores medio anuales revelan un flujo de 5,5 m/s, siendo una de las zonas de mayor valor, Fig. 10.

Por otro lado, la temperatura media anual es menor a los 16, 5°C, sobre el área de estudio. Todos estos datos fueron relevados en el mismo período de tiempo (1961-1990). Fig. 11.

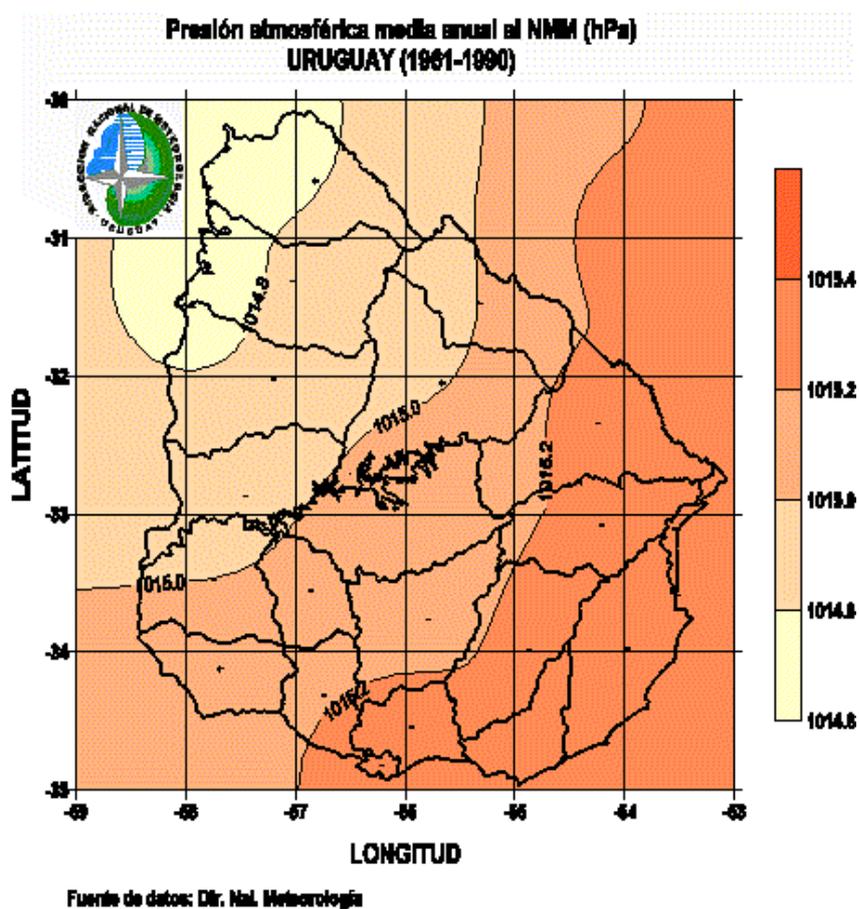


Fig. 9 Mapa de presiones atmosféricas media anual (hPa) del Uruguay en los años 1961 – 1990 Fuente: MVOTMA – DINAMA elaborado en conjunto con INUMET.

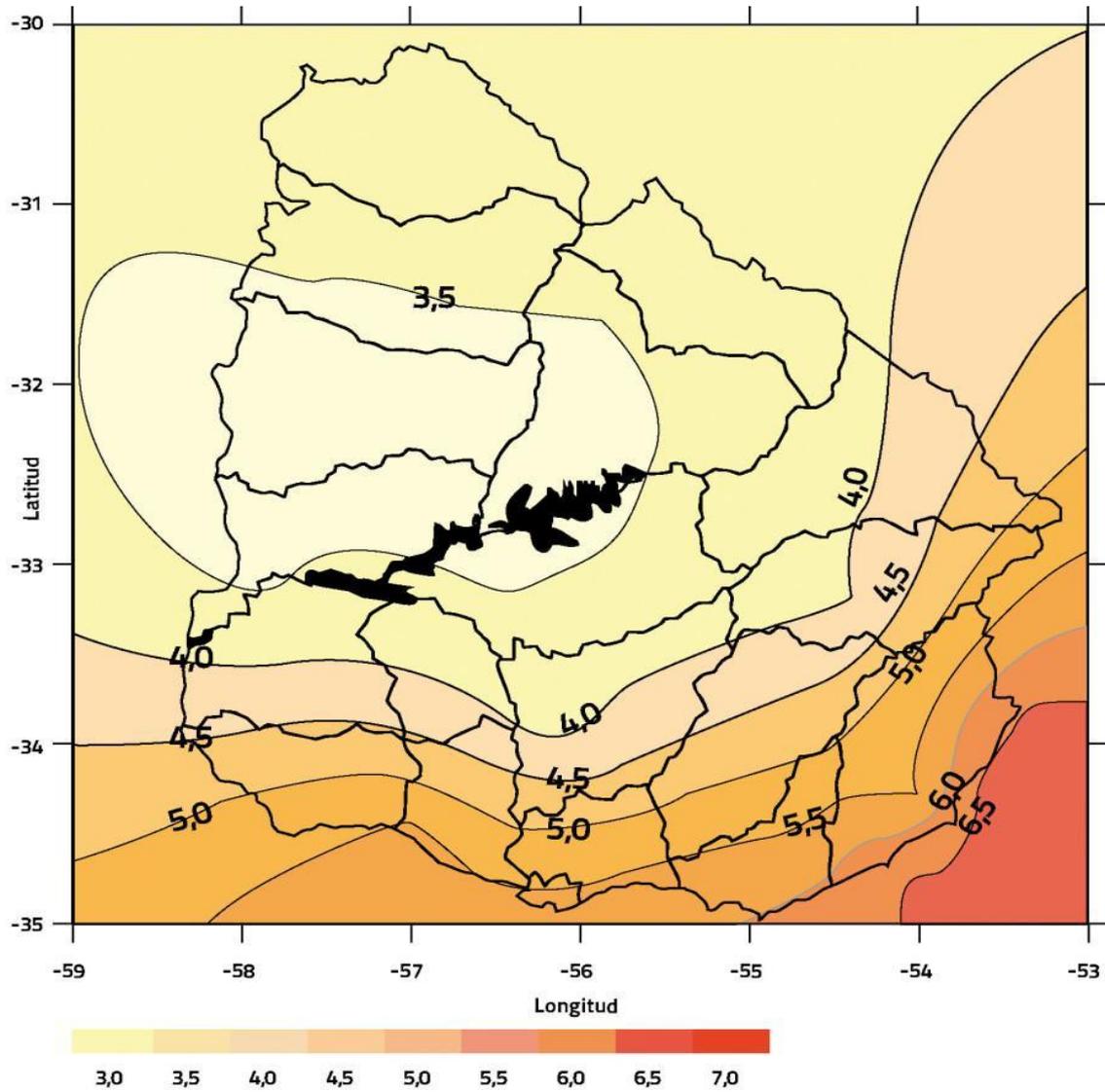
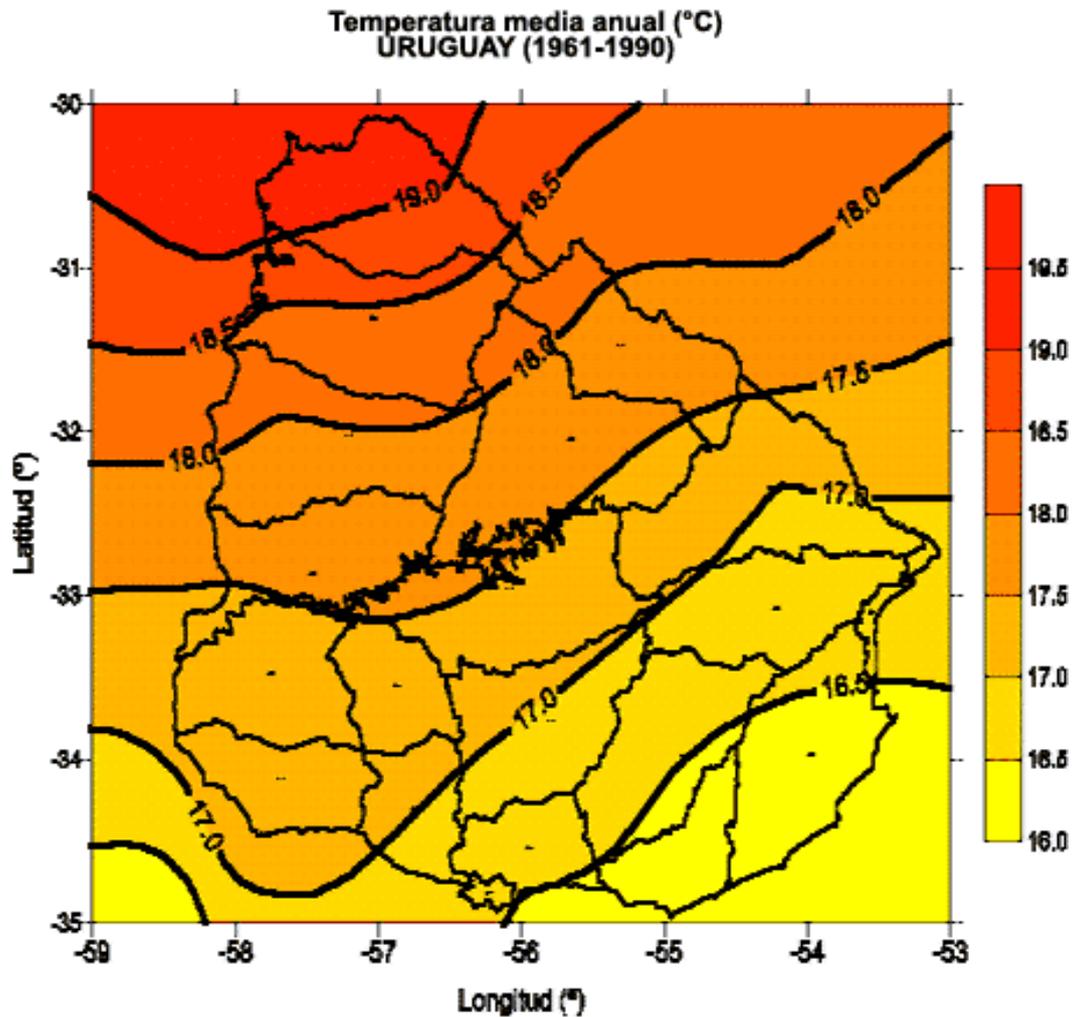


Fig. 10 La velocidad del viento media anual en superficie (m/s) tomada desde 1961 –1990

Fuente: https://www.dinama.gub.uy/indicadores_ambientales



Fuente de datos: Dir. Nal. Meteorología

Fig. 11 Mapa de isotemperaturas medias anuales para el período 1961 –1990 en la R.O del Uruguay. Fuente: <http://www.meteorologia.com.uy>



Aspectos biológicos del área

Vegetación

En la porción serrana del área la vegetación corresponde según la carta del Ing. Agr. Juan A. Sganga a matorral serrano y comunidades litófilas. La vegetación principalmente es leñosa. Por otra parte, en la porción de lomadas la vegetación corresponde a pastizales y praderas de graminales.

Fauna

Según el informe técnico realizado en 2012 denominado Clasificación y delimitación de las Eco-regiones de Uruguay y en función de los diferentes aspectos físicos y biológicos, el país se divide en diversas Eco-regiones. El área de estudio pertenece a la Eco-región Sierra del Este y a partir de los valores utilizados para su evaluación biológica se determina la existencia en esta zona de aproximadamente 744 especies entre ellas peces, anfibios, reptiles, mamíferos. Así mismo, la Clasificación describe a las especies biológicas como endémicas o casi endémicas de bajo riesgo biológico.

Población

El área de estudio pertenece al Municipio San Carlos con una población total de 33.159 habitantes. La localidad censal para el censo 2011 es El Edén.

El Edén se encuentra ubicada 20 Km. al Oeste de la Sierra de los Caracoles.

El censo 2011 revela que la zona censal presenta una cantidad de 85 personas que viven en hogares particulares, el mayor porcentaje 57 personas pertenecen a la franja entre los 15 – 64 años. El índice de masculinidad es de 88.9 % con un tamaño poblacional promedio por hogar de 2,9 personas. Fuente: Maldonado – Indicadores socio demográficos seleccionados, por sección censal, localidad y municipios a partir de la información del censo 2011.



Actividades productivas del área

Las actividades productivas más significativas del área son agropecuarias, ganaderas emprendimientos turísticos y energéticas.

Se inició la construcción de parques eólicos sobre la Sierra inaugurados en abril el 2014, actualmente generadores de más de 250 megavatios. Parte de la planta se desarrolla sobre el área de estudio, que incluiría parte de la caminería, usina y algunos de los molinos para la instalación de la planta energética *del informe Parque Eólico, 2010 Sierra de los Caracoles*.

Las actividades ganaderas comprenden cría, pastoreo y tambos, ocurrió en la primera década del siglo XXI la iniciativa de cultivos de olivares.

La zona de la Sierra de los Caracoles y sus alrededores ha tenido un desarrollo turístico a partir de la realización de chacras turísticas y deportes como parapente y ciclismo aventura.

Antecedentes Geológicos

El territorio uruguayo se encuentra dividido para la mayoría de los autores en tres terrenos tectonoestratigráficos principales, en la parte B se muestra el primer modelo descrito generado por Campal et al. (1995) y Bossi et al., 1998, Modelo según Bossi et al (2001), Bossi y Gaucher (2004) y el modelo A que es con el que seguiremos trabajando corresponde al realizado por Modelo según Preciozzi et al., (1985,1999), Sánchez Bettucci et al. (2010), Oyhantçabal et al., (2010), Masquelin et al., (2017), Fig. 12.

El Terreno Piedra Alta, definido por Bossi et al 1993 se ubica en la región centro sur del país y está separado, por el Este con el TNP por la Zona de Cizalla Sarandí del Yí. Está compuesto por rocas de edad Transamazónica aprox. 2000Ma cuyos linotipos principales son Cinturones de rocas metamórficas, separadas por complejos granito gnéisicos y cuerpos intrusivos de composición y textura variable. Preciozzi, Frago Oyhantçabal, para algunos autores Bossi et al, 2005, el terreno Piedra alta está subdividido por dos terrenos. El terreno piedra Alta y al sur de la zona de Cizalla de Sierra Pavón se describe el Terreno Tandilia que se extendería hacia el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

El Terreno Nico Pérez definido por Bossi 1992, se localiza en la porción centro este del país , limita por el este con la Zona de Cizalla Sierra Ballena que a su vez lo separa del Terreno Punta del Este. Ésta integrado por rocas de diversas edades que van desde el Arqueano hasta el Neoproterozoico, los principales litotipos son un basamento granítico gnéisico Arqueano y Paleo proterozoico, cinturones metamórficos de grado medio y bajo, Paleo y Mesoproterozoicos, fajas miloníticas, cuerpos intrusivos y supracorticales de edad Neoproterozoica.

El terreno está afectado por varios ciclos metamórficos, siendo el evento Grenvilliano de 1.25 Ga y posteriormente por la orogenia Brasiliana – Panafricana que da origen a la ZCSB hace 530 MA aquellos eventos que sí afectan, a la totalidad de las rocas que lo conforman.

El Cinturón Dom Feliciano definido por C. Frago (1980) constituye el evento geotectónico Neoproterozoico que permitió la conjunción del TNP con el TPA generando procesos magmáticos y deformacionales de gran magnitud), el cual se extiende hasta el Sur de Brasil, se encuentran principalmente rocas metabásicas, metapelitas y metacalcáreos. Sánchez (1998).

Al Este de Zona de Cizalla de Sierra Ballena (ZCSB) se encuentra el terreno Cuchilla de Dionisio definido por Bossi et al., 1998 en el sur que delimita al este con la Fm. Rocha, y se entrecruza con el definido Cinturón Dom Feliciano por Fragoso Cesar (1980), el cual se extiende hasta el Sur de Brasil. Se encuentran en este terreno principalmente rocas metabásicas, metapelitas y metacalcáreos. Sánchez Bettucci (1998). A pesar de reconocer la comunidad científica –geológica que se trata de un terreno alóctono de proveniencia africana que colisiona con el terreno Nico Pérez durante el ciclo Brasiliano hace (750 – 650 MA) no están de acuerdo con sus secuencias litoestratigráficas y su evolución.

El área de estudio se encuentra entre la Zona de la Sierra de los Caracoles (parte de la Zona de Cizalla de Sierra Ballena) y el Arroyo San Carlos.

Según el mapa geológico de escala 1:100.000 de Maldonado realizado por Spoturno et al. (2012) el área de estudio ubicada entre la Sierra de los Caracoles y el Arroyo Maldonado y Arroyo San Carlos. Se encuentra recubriendo el área la Fm. Libertad y la Fm. Villa Soriano, Ver Fig. 13 y 14. También presenta cuerpos intrusivos, granitos deformados con tendencia a una textura gnéisica. Hacia el Norte del área de estudio se encuentra una faja de granitos milonitizados que conforma la Sierra de los Caracoles y se encuentra geológicamente asociada a la zona de Cizalla de Sierra Ballena, Fig. 14.

En la zona de la Sierra de los Caracoles pueden observarse Ortogneises de grano medio anfibólico – biotítico de composición variable, desde diorítica hasta granítica. Se pueden observar intercalaciones de granitos finos a medios. Preciozzi et al. (1993).

El principal evento tecto – metamórfico está asociado a la orogenia Brasiliana – Panafricana hace 750 – 650 MA y asociado a este evento, existen en el área un conjunto de granitos intrusivos (magmatismo), Nuñez et al, 2019.

La zona de la mayor expresión de la deformación asociado al evento orogénico se encuentra representado un ancho variable de 50 a más de 200 m y la zona de cizalla se extiende visualmente desde el Sur de Punta Ballena hasta el Norte de Cerro Largo, es decir que recorre el Uruguay con una dirección aproximada de N15E, Fig. 13. Nuñez et al, 2019.

Sin embargo, este evento orogénico afecta a todo el terreno en sí. Las zonas que presentan mayor resistencia a la erosión conforman las áreas más elevadas topográficamente en el terreno, generalmente asociadas con la presencia de minerales más resistentes, ej. Cuarzo. Nuñez et al, 2019.

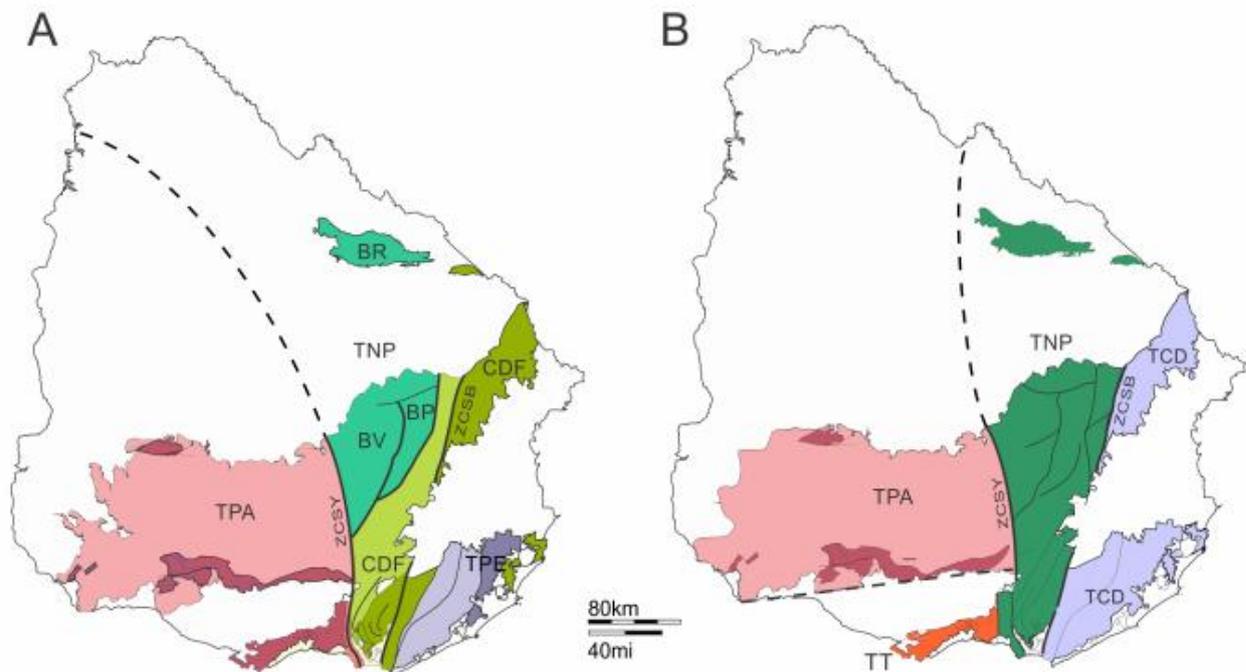


Fig. 12 Representación de los dos modelos tectonoestratigráficos para el paleoproterozoico y principales lineamientos estructurales del Uruguay. TPA: Terreno Piedra Alta, TNP: Terreno Nico Pérez, CDF: Cinturón Dom Feliciano, TPE: Terreno Punta del Este, TT: Terreno Tandilia, TCD: Terreno Cuchilla de Dionisio, BR: Isla cristalina de Rivera, BV: Bloque Valentines, BP: Bloque Pavas, ZCSY: Zona de Cizalla Sarandí del Yí, ZCSB: Zona de Cizalla Sierra Ballena. Se sigue el modelo A, para la realización de este trabajo.

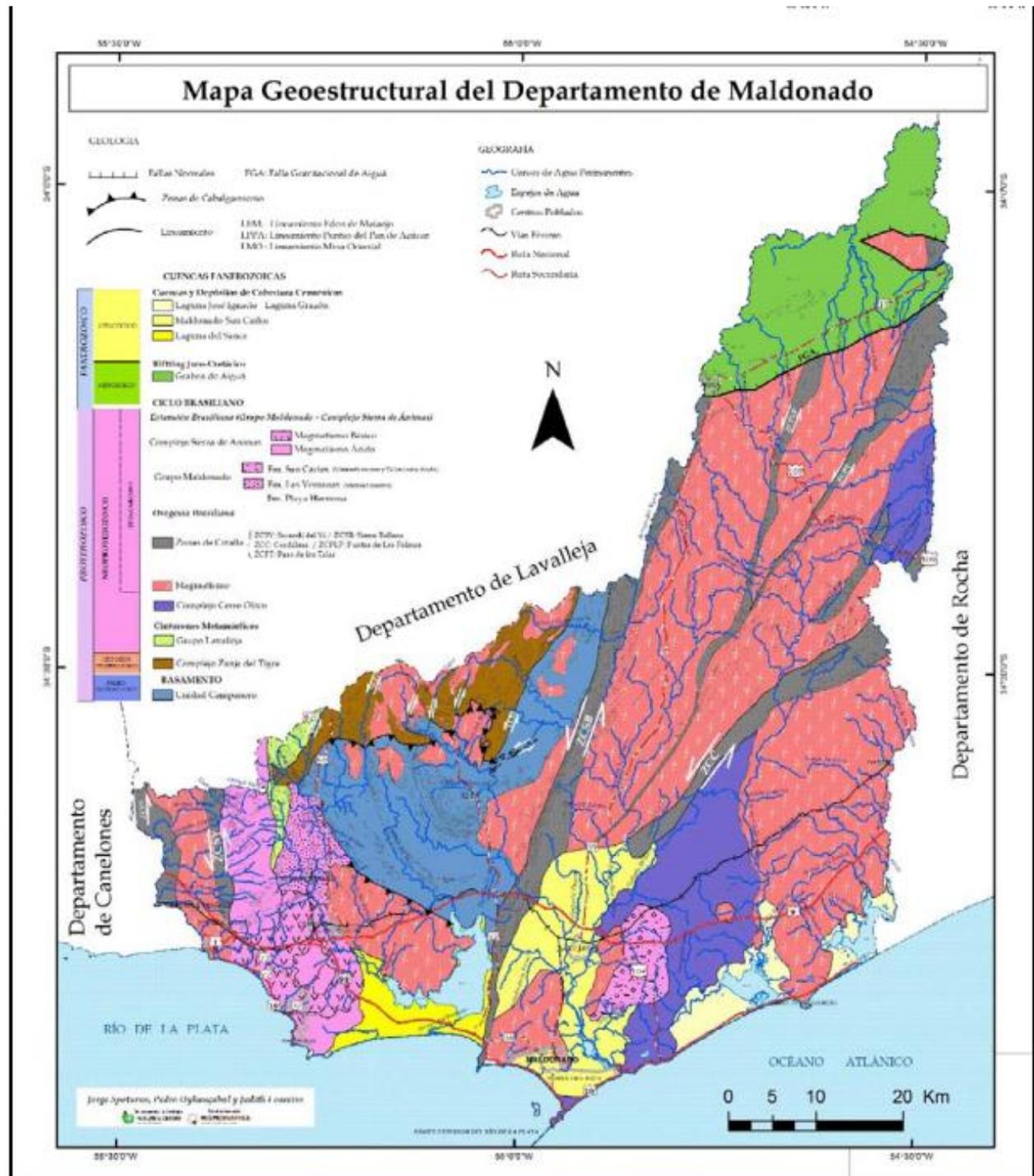


Fig. 14 El mapa geoestructural de Maldonado. La zona de la Sierra de los Caracoles se localiza sobre la Zona de Cizalla Sierra Ballena (ZCSB).

Antecedentes hidrogeológicos

Según la carta hidrogeológica de escala 1:1.000.000 el área de estudio se ubica en una zona de “rocas con porosidad por fracturas y/o niveles de alteración o disolución kárstica, con alta a media posibilidad para agua subterránea”.

Los acuíferos fracturados presentan una gran variabilidad respecto a sus caudales, producto de la profundidad de las fracturas y su interconectividad.

El área de estudio pertenece a la Unidad Hidrogeológica Paleoproterozoica dominada por gneises, granitos, micaesquitos y anfibolitas.

Esto quiere decir, que trata de rocas donde domina la porosidad por fractura ya que la mayoría de estas, por su naturaleza y origen, se encuentran fuertemente recristalizadas. Por tanto son rocas que han sufrido varios ciclos de metamorfismo (modificaciones por presión y temperatura) que han consolidado paquetes sedimentarios en rocas de gran tenacidad y otras ya plutónicas (de naturaleza con poca o nula porosidad) por tanto, las rocas paleoproterozoicas no tendría potencialmente capacidad para acumular agua en su interior. Es por ello, que se habla de capacidad fracturas (fracturamiento, diaclasas o disolución) generada por planos o espacios ocurridos posteriormente a su consolidación, esto puede deber a: deformación frágil (ruptura) o por disolución o por desagregación de la roca por lixiviación.

En caso de una disolución por acumulación hídrica que se continúa por disolución química, son los llamados Karst, generalmente de rocas carbonáticas.

Estos casos estos procesos de alteración del material consolidado ha permitido dejar huecos, por donde el agua puede circular en profundidad. Es por medio de esos espacios, que el agua puede moverse bajo la superficie de la Tierra, en estos tipos de rocas.

Por encontrarse sobre un sustrato granitizado el potencial hidrogeológico es muy reducido, siendo el fracturamiento, su interconectividad y profundidad los factores que dan origen a un almacenamiento hídrico aleatorio (limitado y local) del recurso. También puede verse en la Fig. 15 que los caudales específicos están en torno de 1.0 m³/h/m, y con un residuo seco promedio de 500 g/l. Memoria carta hidrogeología escala 1:1.000.000.

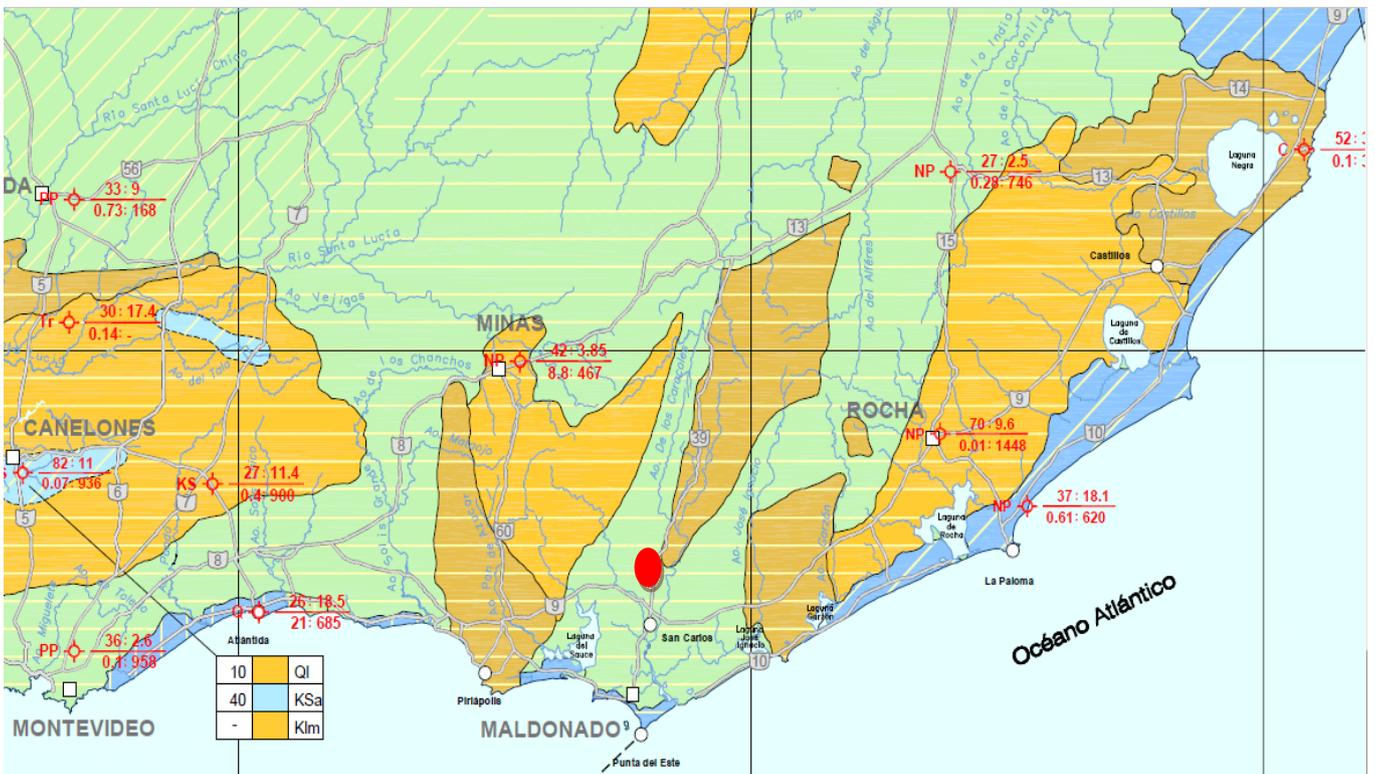


Fig.15 Mapa hidrogeológico escala 1:1000000. Se encuentra con un círculo en color rojo a zona correspondiente al área de estudio, realizado por W. Heinzen et al.



Antecedentes fotointerpretación

La fotografía como técnica tiene su nacimiento en la proyección óptica originaria de la Grecia Antigua con el filósofo griego Aristóteles alrededor del 350 AC, su estudio continuo recién desde el siglo XV con Leonardo da Vinci quien promueve el desarrollo de la perspectiva y la proyección geométrica. (Macleish, 1977).

Desde allí en adelante se fue comenzando el proceso de generación de cámaras. Sin embargo, la primera fotografía aérea no fue tomada hasta el siglo XIX.

Se analiza en este apartado el inicio de la fotografía y las técnicas fotogramétricas para la realización de ortomosaicos y sus ventajas, así como el origen de los drones (El Dron es un término genérico utilizado para las aeronaves no tripuladas en general, UAV) sus aplicaciones y ventajas actuales.

Los Drones pueden ser teledirigido desde tierra o puede ser previamente computarizado su lanzamiento recorrido y aterrizaje y su origen data de fines del siglo XIX, “un primitivo UAV formado por un globo cargado de bombas se utilizó el 22 de agosto de 1849 en un ataque austríaco a la ciudad de Venecia.” Sin embargo, el impulso que tomó el avión no tripulado para reconocimiento de áreas y transporte de materiales (generalmente de uso militar) se utilizó durante la primer Guerra Mundial (IGM), es decir inicios del siglo XX.

Existen tamaños diversos de Dron, variando desde pocos Kg. hasta aeronaves militares porta misiles.

A partir de la toma sucesiva de fotografías con cierto grado de solapamiento entre sí, se puede realizar en gabinete los procesos de georreferenciación y ortorectificación. A partir de estos procesos se construyen ortomosaicos capaces de localizar y medir un objeto de forma absoluta o relativa y representar a escala objetos sobre ellos. Además, a partir de programas de fotogrametría se puede generar con los datos topográficos modelo digital de elevaciones compuesto por un modelo digital de terreno (MDT), así cómo se puede generar modelo digital de superficie (MDS) o modelado foto realístico. A partir de los cuales, se pueden no solo realizar mediciones en 2D, sino análisis y fotointerpretación en 3D.

Alguna de las ventajas que presentan los ortomosaicos de vuelos a partir de Drones, es el detalle a nivel del píxel que logra para la fotointerpretación.

La fotointerpretación (3D) permite en geología la percepción a partir de la geomorfología del terreno reconocer el tipo de rocas sedimentarias o ígneas. En las rocas sedimentarias puede analizarse estratos. A su vez se pueden reconocer fotolineamientos como lo son, las fracturas, fallas, diaclasas y foliación. Se puede reconocer su longitud, densidad, de foliación o, densidad de fracturas así como también buzamiento de los estratos (que deben ser chequeados en campo) y cálculo de su espesor. También del reconocimiento de fallas establecer el tipo de desplazamientos que generaron. Ej. Los diques de gabros “granito negro” de uso ornamental, son prospectados por medio de su geoformas, textura, relieve, para su localización.

En hidrología ha utilizado los Drones para lograr alcanzar lugares que actualmente son de nulo o escaso acceso para el hombre, como grandes profundidades, lugares de alta contaminación o no visibles, con alta batimetría para la permanencia de una persona. Por ejemplo, fondo marino, lugares de operaciones marinas, lagos o lugares altamente contaminados o de elementos nocivos. Detección de emanaciones de lava, y eventos sísmicos capaces de generar tsunamis. También a partir de fotografiar un área con sensores del infrarrojo o multiespectrales para control de calidad por contaminantes, tanto metálicos como orgánicos, Fenercom (2015).

Los sensores más utilizados para relevar el territorio son transportados a modo de cámara o equipos electrónicos.

En general son cámaras electro – ópticas (implica detección de movimiento a partir de cierta velocidad), así como sistemas de comunicación, guía y orientación del aparato.

De utilizar en los vuelos diferentes tipos de cámaras o sensores pueden inspeccionarse variaciones en el terreno de tipo electromagnéticos asociados a magnetita (yacimientos de hierro) o anomalías gravimétricas (variaciones de densidad) Ej. Yacimiento de gabros o rocas ricas en metales pesados tipo greenstone belts.

Algunas de las ventajas del uso de Drones son el bajo peso que pueden poseer, al no implicar un espacio ni la capacidad de transportar un piloto dentro de la aeronave, la capacidad de maniobra en espacios reducidos, menor consumo de combustible (menor emanación de CO_2), menos ruido y la posibilidad de acceder a lugares que no serían posible con una persona abordo o andando.

Los Drones son muy útiles para el análisis y fotointerpretación en zonas con baja accesibilidad por el tipo de terreno o su altura, Fernández – Lozano (2016).



Una vez ingresado a fines del siglo XX al uso civil, se ha iniciado una avalancha de investigación ligada a ellos tanto para el manejo a nivel de usos de suelo, evolución urbanística, pero como tal se ha promovido su regularización por parte de los estados para su manejo como la utilización de los mismos, contra terceros, *Chinea (2015)*.

En el Uruguay existe una normativa vigente regulada por la DINACIA (Dirección Nacional de Aviación Civil e Infraestructura Aeronáutica) establecida desde 2 de septiembre del 2014 para el uso civil de Drones.

Esta reglamentación aplica a todo el territorio Nacional, y se aplica siguiendo los artículos Art. 122 de la ley 14305, Art. 4 de la ley 18619 y en los Decretos 39/977 y 314/994 y RAU 91.

La normativa aplica que los Drones de uso recreativo que no excedan los 25 Kg. pueden ser utilizados por debajo de los 120 m de altura, en todo el Territorio exceptuando los lugares prohibitivos (Ej. Aeropuertos), y las restricciones de uso y permisos necesarios para aquellos UAV con más de 25 Kg., o con capacidad de portar tripulación.

A fines del 2015, se crea la Asociación de Drones y logra la persona jurídica en enero del 2016.

Sin embargo, la fotografía aérea antigua permite un acercamiento de un área previo a un nuevo manejo de uso de suelo ej. Forestales, cultivos, establecimiento de centro poblados. Por tanto, la fotografía aérea pancromática es relevante a la hora de realizar una fotointerpretación geológica de un área. Así como vuelos donde colocarse aparatos sensibles a la luz, la radiación como capaces de captar radiometrías o magnetometrías para el caso de reconocimiento geológicos o componentes del sustrato.



Metodología

Fotointerpretación y Fotolectura

La fotografía aérea es un caso particular de teledetección que se realiza a partir de un vuelo de baja altura y una cámara de alta resolución. Las fotografías pueden ser tomadas desde un avión o aeronave (tripuladas o no).

Antiguamente únicamente las fotografías eran blanco y negro (pancromática), actualmente también las hay color e infrarrojas.

La primera fotografía aérea fue tomada desde un globo aerostático a mediados del siglo XIX por el francés fotógrafo, periodista G. Félix Tournachon. La fotointerpretación como técnica data de 1840 cuando SIR Charles Wheatstone crea el primer estereoscopio, capaz de generar la percepción tridimensional (de profundidad) a partir de un plano o imagen de dos dimensiones. El estereoscopio consiste en un par de lentes, que se comportan análogamente a los ojos humanos; a partir de la observación de un mismo punto con cada lente se puede lograr una percepción tridimensional de la imagen. Nuestros ojos a pesar de encontrarse separados una pequeña distancia logran captar un mismo punto desde ángulos diferentes y enviar dicha señal al cerebro el cual "interpreta" y da profundidad a la imagen observada.

La fotointerpretación de imágenes aéreas es una técnica que la American Society of Photogrammetry, define como *"el arte de examinar imágenes fotográficas con el propósito de identificar los objetos y juzgar su importancia"*. Como técnica permite una representación fidedigna de la superficie terrestre al momento de la toma de la fotografía (aspecto temporal), a partir de dos fotografías sucesivas con cierto solapamiento longitudinal y transversal y un par de lentes estereográficas se puede obtener una imagen tridimensional de la superficie que se esté analizando.

La percepción de la vertical es exagerada respecto a la latitud y longitud de la fotografía, y puede ser medida en caso de ortofotografías, logrando que aspectos de pequeño tamaño puede ser reconocidos mediante esta técnica.

La fotografía aérea presenta escala en el plano (X e Y), la cual depende de la altura del vuelo (al momento de tomar la fotografía) y la distancia focal de la cámara. Dicha escala permite la medición de los elementos presentes en la fotografía. Así mismo, se puede realizar un análisis evolutivo de un área a partir de la toma de fotografías del mismo lugar, en diferentes momentos históricos.

Las fotografías aéreas se clasifican según el tipo de sensores (pancromática, color o infrarroja) y la orientación del negativo de la cámara respecto a la superficie que se esté captando. Por tanto, al momento de captar una fotografía aérea la cámara puede estar orientada con diferentes ángulos respecto a la superficie terrestre, distinguiéndose dos tipos de imágenes: verticales u oblicuas.

Las imágenes oblicuas son aquellas en que el eje de la cámara se encuentra inclinado cierto ángulo respecto a la vertical y la superficie del terreno. Esta inclinación puede permitir la vista del horizonte aéreo o no (es decir, se puede o no visualizar un horizonte) dependiendo del ángulo. Por tanto, existen fotografías oblicuas con horizonte visible y las fotografías oblicuas sin horizonte visible. Por otro lado, si la cámara está ubicada paralela al terreno y el eje óptico perpendicular a la superficie diremos que la imagen es vertical.

Para la realización de un Modelo digital de Terreno es necesaria la utilización de las imágenes verticales. Estas fotografías verticales también son las requeridas para la estereoscopia, puesto que tienen una proyección cónica de la superficie terrestre. Por tanto, al visualizarlas en un plano se observa cierta deformación que aumenta hacia los bordes de la fotografía producto de la esfericidad de la Tierra, así como correcciones asociadas al vuelo, condiciones y distorsiones de la cámara y morfología de la superficie terrestre (mayor relieve mayor deformación). Sin embargo, dicha deformación fotogramétrica puede ser corregida digital o semi-manualmente, logrando así una ortofotografía y menor distorsión posible que unifique la escala de trabajo y el mejor solape entre imágenes consecutivas.

Con el modelo digital de Terreno (MDT) se permite una primera aproximación de las pendientes, morfología y análisis estructural del área de estudio, a partir del cual se extrae la ortofotos (fotografías ortorectificadas) y con ella, la generación de un ortomosaico, para una mejor relación de medición de los objetos.



La foto-lectura permite la identificación y medición de elementos en la fotografía, la evaluación de las texturas, tono de grises e hidrografía, entre otros. Mediante la fotointerpretación se puede reconocer parámetros como la morfología del área, la vegetación y sus tipos, la hidrografía, así como la geología y tipos de suelos, parámetros antropológicos del uso del suelo, entre otros.

Mediante la salida de campo de un día, se buscó un mayor acercamiento al área de estudio y un reconocimiento de posibles errores en gabinete, así como el posible hallazgo de objetos que en fotointerpretación no hayan podido ser reconocidos mediante ninguna de las dos técnicas. Por medio de dicha salida, se reconocieron paquetes de rocas gnéisicas y granitos deformados, las rocas cataclásticas y milonitizadas, así como paquetes de coluviones y aluviones. Se recorrió tanto la zona elevada topográficamente como las cercanías a las planicies de inundación del Arroyo San Carlos.

Limitaciones

Es destacable reconocer que existen limitantes en la fotointerpretación, algunas de carácter instrumental como puede ser la calidad del estereoscopio o la cámara proveedora de las fotografías o el proceso de solapamiento o luminosidad de las imágenes. Por otro lado, las particularidades al momento de la toma de la fotografía como pueden ser, parámetros climáticos (nubes, lluvia) o inestabilidad de la nave por vientos. En tercera medida, las modificaciones realizadas sobre el territorio pueden deteriorar la percepción de aspectos naturales producto de: un asentamiento humano, erosión de los suelos o alteración por usos de suelo en general (agricultura, ganadería, emprendimientos civiles, embalses hídricos, etc.). Finalmente, la última limitante y no menor es la capacidad y calidad del fotointérprete quién según su conocimiento y práctica sobre una temática logrará diferentes resultados a medida que avanza y profundiza en ella.



Vuelo Fotogramétrico

En el presente trabajo realizaron dos vuelos consecutivos de 40 minutos cada uno; ambos con una altura aproximada de 100 m sobre la superficie del terreno.

Para lograr una mejor calidad del ortomosaico esperado como resultado de las imágenes tomadas por el Dron, se tomaron 10 puntos de control sobre el territorio. Los espacios elegidos para los puntos de control fueron cruces de caminos o lugares de fácil acceso, con el objetivo de un mejor rendimiento del tiempo y costo del trabajo, así como la no intervención en predios privados.

El post proceso del relevamiento aéreo se realizó con el Software para fotogrametría Pix4D del 2015, (mismo año del trabajo aéreo), donde se corrigieron los errores de curvatura de la Tierra en la fotografía que brinda la morfología a la foto de “ojo de pez”, a través de los puntos de control en campo y el solapamiento de las fotografías.

Durante la realización del vuelo el único sensor que fue utilizado fue la cámara Sony A6000, las imágenes son RGB (rojo, verde, azul) y el tamaño de píxel obtenido fue de 12 cm. (0.12m).

A partir de la construcción del ortomosaico se realiza el proceso de fotointerpretación y fotolectura de diferentes estructuras, morfología y descripción geológica general del área de estudio, a modo de poder realizar una comparación cualitativa y cuantitativa con las fotos aéreas.

Las imágenes con Dron fueron trabajadas tanto a escala 1:20000 como 1:5000, en ambos casos se buscó la identificación de fracturamiento en base a cambios de tono, texturas, reconocimiento de lineamientos, diaclasas y fracturas.



Comparación imágenes del Dron vs. Fotos aéreas pancromáticas

Una gran ventaja de los relevamientos aéreos no tripulados es la posibilidad de acceder a información de precisión sobre un área de estudio de manera abarcativa, actualizada y rápida, acelerando el trabajo inicial de gabinete. Posibilita la adquisición de imágenes de lugares de difícil acceso o peligroso para su monitoreo (ej. lugares de alta radiación, procesos volcánicos, etc.).

Las imágenes fueron digitalizadas en Qgis en el mapa que se representa a continuación. Las zonas que presentan la mayor cantidad de fracturas interconectadas entre sí, son las que presentan mayor posibilidad de albergar de un volumen hídrico capaz de ser extraído por bombeo mediante la construcción de un pozo.

Dado que el agua infiltrada por diferentes direcciones fluye hacia zonas de menor gradiente por medio de los espacios de la roca fracturada, aumentando su volumen conforme se direcciona pendiente abajo (dirección del flujo).

Las fotos aéreas utilizadas de base para el análisis comparativo de técnicas

Las fotos aéreas sobre las que se trabajan fueron capturadas en un vuelo fotogramétrico Nacional en el año 1966 –1967, a escala 1:40000 y 1:20000, a partir de estas fotografías utilizadas de base, se generaron las cartografías temáticas del país Ej. Índice CONEAT, uso del suelo, las cuales siguen vigentes hasta la fecha.



Hidrogeología

El agua que infiltra en el ciclo hidrológico al medio subterráneo se denomina, agua subterránea. El agua se almacena en los espacios de la roca en profundidad, los cuales pueden ser poros (porosidad primaria) o fracturas (porosidad secundaria). Se diferencian tipos de material rocoso en donde se encuentra el agua: acuíferos sedimentario, kárstico o fracturado.

En nuestra área de trabajo por tratarse de rocas ígneas (plutónica o volcánica) en zona de cizalla o deformadas por presión, nos encontramos frente a un área de fracturamiento, por tanto, frente a un acuífero fracturado.

Al momento de la deformación ocurren eventos tanto dúctiles (que no dan paso a fracturas) como la deformación frágil (que sí da paso a la fracturación). La deformación a mayor posición cortical es más probable que sufra deformación frágil producto de su baja temperatura, pero también ocurre deformaciones que son dúctiles y frágiles simultáneamente, generando la cataclisis.

En estos casos, el agua se desplaza por las fracturas y aumentando el volumen conforme existan mayor cantidad de fracturas conectadas entre sí. A estos acuíferos se les denomina, acuífero fracturados ya que el agua circula por medio de estructuras resultantes de procesos tectónicos y/o temporales que han modificado la roca original.

La capacidad de albergar agua que tenga cada fractura en particular depende de varios factores, como son: su ancho, largo, nivel de alteración del material rocoso, la profundidad de la fractura, entre otras (Cuchi, 1998).

La fotointerpretación permite como herramienta obtener una representación de las características geológicas y geográficas particularmente en zonas de difícil acceso, permitiendo realizar el seguimiento de estructuras y sus lineamientos; como resultado se muestra una predisposición geométrica de fallas y fracturas que conforman algunas zonas altamente fracturadas y meteorizadas. A su vez, teniendo en cuenta tonos, texturas y moteados también se delimitaron contactos litológicos que resultaban dudosos especialmente en zonas de espesa vegetación y difícil acceso. Gómez, S y Rojas, N (2006).

Las fracturas, en zonas sin apenas alteración, pueden dar pozos de mayor caudal, pero poseen una reducida capacidad de almacenamiento y son más difíciles de ubicar considerando la anisotropía del medio (Fashaeet et al, 2014) (Fashaeet al., 2014, Wright, 1995, Foster et al., 2006)

Los procesos de deformación que ocurren en la corteza terrestre liberando o acomodando esfuerzos que se realizan sobre el sistema sólido (roca) o zonas de transición (dúctil – frágil) de la Tierra. Esto se debe a que si la masa que compone la Tierra se comportase únicamente en forma fluida, las fracturas o la deformación frágil, no ocurrirían (sino que puede llegar a ocurrir únicamente una la deformación dúctil).

Los tres mecanismos principales de deformación son: la compresión, tensión y cizalla. La compresión son los esfuerzos lineales en sentidos opuestas y hacia un mismo cuerpo rocoso. Esto genera fallas o pliegues de los paquetes rocosos según si se comporta de forma frágil o dúctil, respectivamente.

Los esfuerzos de tensión que son aquellos que ocurren sobre la roca en sentido contrario, pero en sentido extensional (hacia afuera) del cuerpo rocoso. Generalmente, forman fracturas, subsidencia, Fig. 17.

Por último, están los esfuerzos de cizalla que son aquellos donde el cuerpo está sometido a una línea de esfuerzos paralelos entre sí y con direcciones opuestas. Esto genera deformación en planos pocos espaciados entre sí. Fig. 16

Tipo de esfuerzo			Tipo de deformación	
Tension	Compresion	Cizalla		
				Indefornado
				Duclil
			Frágil	

Fig. 16 Tipos de Esfuerzo en Geología



Para que ocurra la deformación el esfuerzo debe ser mayor a la resistencia interna del material. Esto depende de la temperatura a que se encuentra la roca, el tipo de roca y la cantidad de presión a la que se encuentre sometida. Por tanto, debe analizarse la deformación sobre un nivel estructural.

El fracturamiento asociado a nuestra área de trabajo se caracteriza por compresivo y evento de cizallamiento, en estado de transición dúctil – frágil.

La temperatura y cambios de temperatura asociados al clima y volumen de precipitación son factores importantes puesto que permiten un intenso fracturamiento secundario en las rocas.

Según el mapa de Burgos J.J. y Corsi W. (1978) en la memoria explicativa de la Carta Hidrogeológica escala 1:2.000.000, la zona Serrana que cruza al Uruguay de SW – NE presenta una capacidad de almacenamiento hídrico menor a los 100mm, esto determina que son suelos superficiales (litosoles, fluviosoles, arenosoles, inceptisoles) y con un alto riesgo a la sequía.

El cerro de los Caracoles y la zona del Arroyo Maldonado representan la zona más elevada del área de estudio. Estas zonas altas y moderadas fracturadas podrían comportarse como áreas de recarga es decir, donde el agua se infiltra y puede acumularse en profundidad en zonas de fracturación mayor o pueden continuar a la superficie si es que esas fracturas tienen conexión externa pendiente abajo.

Limitaciones

Dado que se realizó una única salida de campo de inspección general y de la morfología y tectónica asociada del terreno. Para la realización del análisis estadístico del fracturamiento no se tuvieron en cuenta aquellas medidas caracterizadas como deformación cizallante ya que obedece a una deformación dúctil de la roca y por lo tanto no opera como zona de ingreso de agua. Dichas direcciones se corresponden con el intervalo NS a N30 y fueron descartados en un proceso de filtrado.

Las fracturas se describirán a partir de un conjunto de parámetros como:

Número	Parámetro	Descripción
1	Número de Sets	Número de grupos de discontinuidades presentes en la red
2	Orientación	Rumbo y buzamiento de la discontinuidad
3	Espaciamiento	Distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes del mismo grupo
4	Persistencia	Longitud de la traza de la discontinuidad vista expuesta
5	Densidad:	
	Linear	Número de fracturas por unidad de longitud
	Areal	Longitud acumulada de fracturas por unidad de área expuesta
	Volumétrica	Área acumulada de planos fracturados por unidad de volumen de roca
6	Área fracturada y forma	Extensión del área fracturada y su forma
7	Conteo volumétrico del fracturamiento	Número de fracturas por metro cúbico de volumen de roca
8	Unidad de bloque de la matriz	Tamaño del bloque y forma resultante de la red de fracturas
9	Conectividad	Intersección y terminación de las fracturas

10	Abertura	Distancia perpendicular entre las paredes adyacentes de la discontinuidad
11	Aspereza	Proyección de la pared de la roca a lo largo de la superficie de la discontinuidad
12	Cobertura y relleno	Material sólido que cubre o rellena las superficies de la discontinuidad.

Fig. 17 Descripción de la totalidad de parámetros pasibles de ser analizados para la prospección hídrica de un área con fracturamiento geológico, Cook, 2003.

De los **12 parámetros** que se se presentan en el cuadro de la Fig. 18 se analizaron en el presente trabajo:

- La persistencia
- La densidad lineal y área
- Área fracturada y forma
- Conectividad

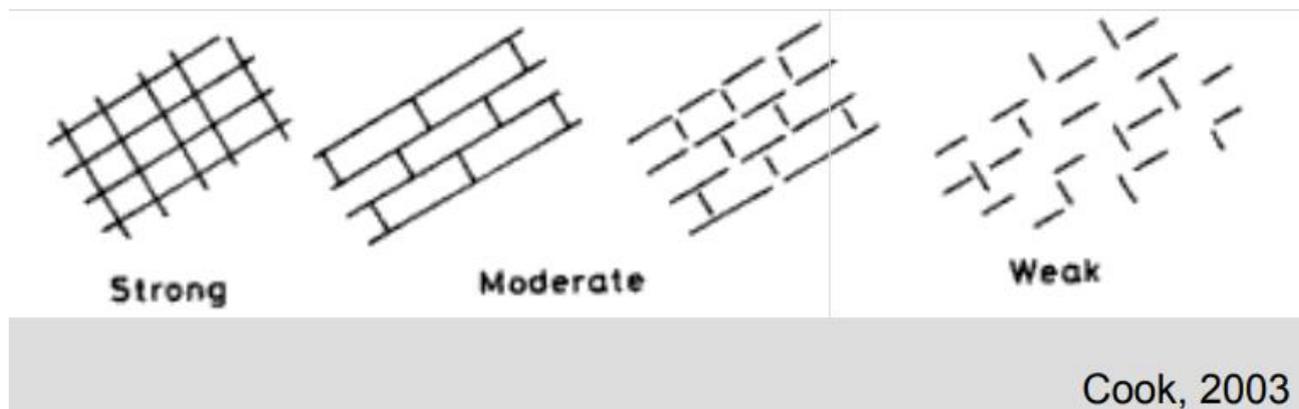


Fig. 18 El grado de fracturamiento e interconexiones está influenciado por la persistencia de discontinuidades.

El área se calcula para cada escala de trabajo obteniéndose dos áreas de trabajo diferentes (parecidas entre sí), pero que están determinadas también por el nivel de detalle del trabajo de inspección de las fotografías.

La densidad del fracturamiento se determinó tanto a nivel de área como a nivel lineal. La densidad área es la relación entre el área total de estudio y la acumulación lineal del fracturamiento presente, Fig. 18.

Cuyo cálculo se expresa de la siguiente manera:

Densidad área = N.º de fracturas / el área total analizada

Para el cálculo de la **densidad lineal** se procede a la realización de la cuantificación de las fracturas halladas, así como el cálculo de la longitud individual de cada fractura encontrada en metros.

La ecuación que relaciona ambos parámetros establece la realización del cociente entre la cantidad de fracturas y la acumulación de las distancias lineales de todas las fracturas y se procede al cálculo de la densidad mediante la siguiente ecuación.

Densidad lineal = N.º de fracturas / acumulación lineal de las fracturas presentes

Se realiza la cuantificación en base el fracturamiento con los filtros (N0 – N30 grados) y se describen en el siguiente apartado mediante un diagrama de rosa de los vientos.

Resultados

En este trabajo se han analizado los parámetros de: longitud del fracturamiento y cantidad de interconexiones que presentan las fracturas. A partir de dos escalas de trabajo 1:20000 y 1:5000, tanto a nivel de fotos aéreas en la zona como del relevamiento fotogramétrico por medio de un dron. La Escala 1:20000 se trabajó con los tipos de imágenes “aérea convencional” y con Dron. Mientras que la escala 1:5000 fue utilizada únicamente por medio del ortomosaico generado por las imágenes con Dron. Así como un análisis ampliado mediante sistema de software del área de trabajo a escala 1:5000 en Qgis.

La relación entre la cantidad de fracturas se ha logrado reconocer entre diferentes fuentes de datos (imágenes aéreas y ortomosaico generado por fotografías digitales con dron). Por otra parte, las fotografías aéreas a escala 1:20000 en formato papel luego de fotointerpretadas por medio de la estereoscopia fueron escaneadas y digitalizadas también en el software Qgis.

Se representa nuevamente el área de estudio al Norte del departamento de Maldonado Fig. 19.

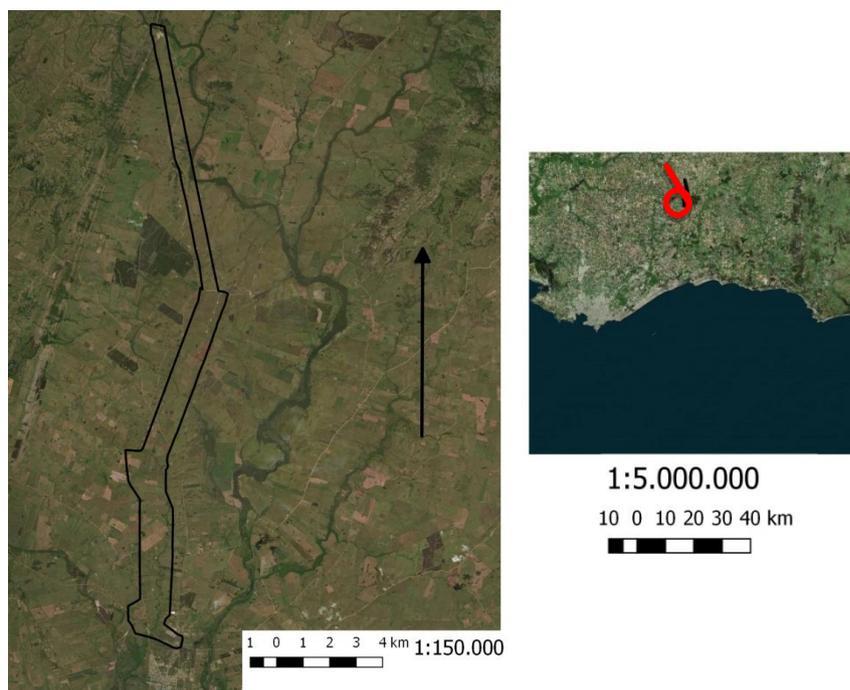


Fig. 19. Revisualización del área de estudio para la descripción de los resultados.



a) Ortomosaico a escala 1:20000

El área de trabajo a escala 1:20000 presenta aproximadamente unos 20 km².

La figura 20 describe la secuencia de imágenes de Norte a Sur del ortomosaico donde se agrega el estudio del fracturación del área en cuestión. La escala de visualización es . 1:80000 en la Fig. 20 sin embargo, el relevamiento realizado sobre el mismo, cabe destacar que se hizo a escala 1:20000.

El procedimiento inicio con la incorporación de imágenes y mantener constante la escala de trabajo tanto para la identificación del área de trabajo como para el relevamiento en su totalidad.

El total de fracturas relevadas fueron 401, sin embargo luego del filtrado de la foliación milonítica, se obtuvo un valor de 357 fracturas efectivas para el análisis.

Posteriormente se procedió al cálculo de la **densidad área y densidad lineal**:

$$\text{Densidad área} = 357 \text{ fracturas} / 19810017 \text{ m}^2 = 1.80 * 10^{-5} \text{ fracturas /m}^2$$

$$\text{Densidad área} = 357 \text{ fracturas} / 19.810017 \text{ km}^2 = 18.0 \text{ fracturas /km}^2.$$

Para la densidad lineal se calculó la longitud del fracturamiento representado gráficamente y la adición de todas distancias halladas y se procedió al uso de la ecuación.

$$\text{Densidad lineal} = 357 \text{ Fracturas} / 60800.81 \text{ m} = 0.0052 \text{ fracturas/m}$$

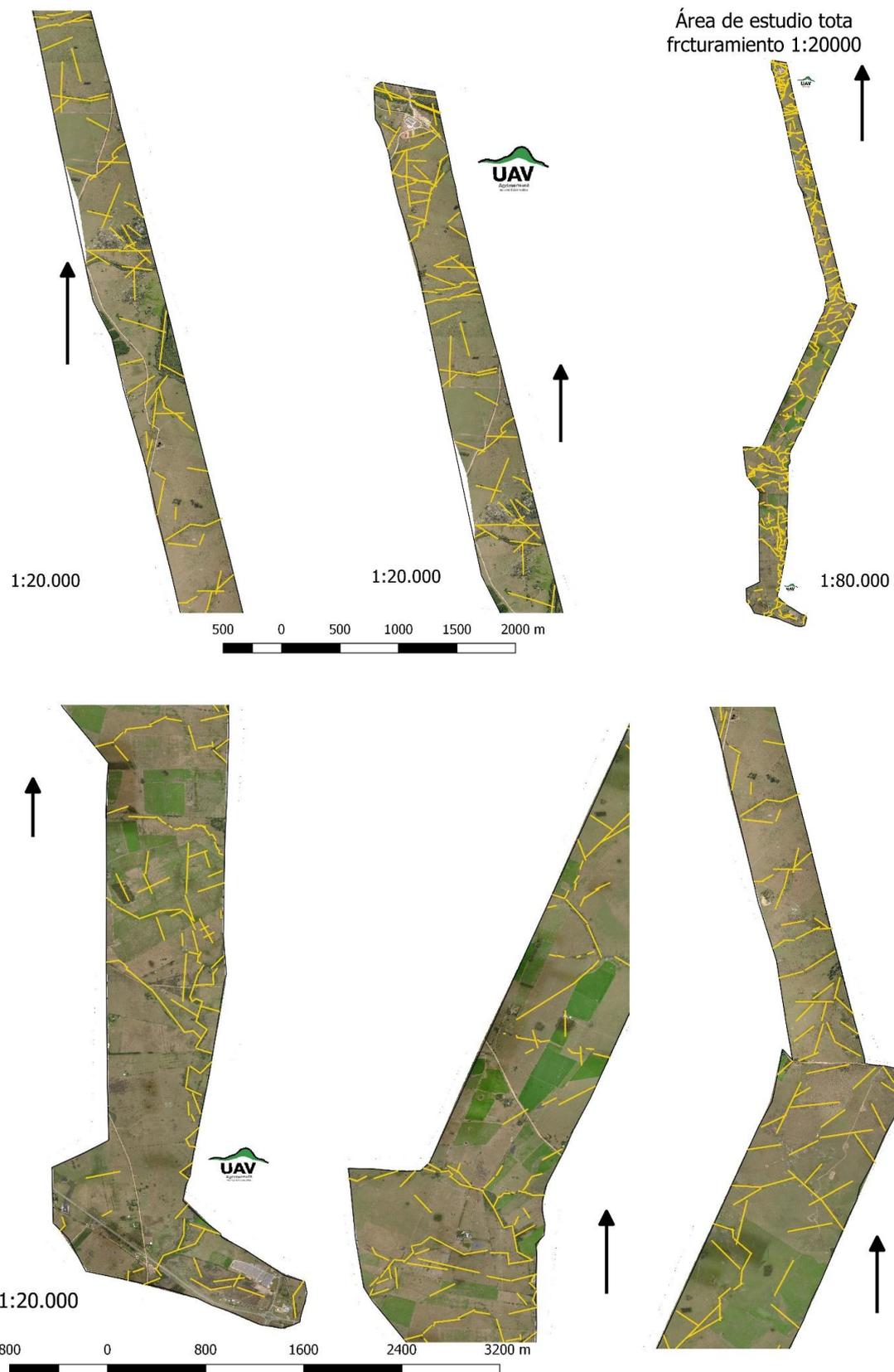


Fig. 20 Área del ortomosaico a escala 1:20000 luego del proceso de análisis del fracturamiento.

La cantidad de interconexiones se determinó mediante la contabilidad de los cruzamientos en cada fractura, en forma individual. Determinando así la cantidad de conectividad que tiene, cada fractura individualmente.

El rango de interconexiones es analizado para el total del fracturamiento. Obteniéndose así, un máximo de 7 interconexiones y un mínimo de 0. El promedio de interconexiones del fracturamiento del área de estudio fue de 1. La representación de la cantidad de interconexiones se realizó por medio de un histograma que permite establecer estadísticamente que la mayoría de las fracturas presentan entre 2 y 1 interconexiones, Fig. 21

Por otra parte, la persistencia del fracturamiento a escala 1:20000 en el ortomosaico se muestra como moderada a leve.

La mayoría de estas estructuras se extienden de Este - Oeste con un gran conjunto de fracturas que entrecruzan la estructura principal.

En los diagramas de rosa de los vientos se filtraron las fracturas correspondientes a la deformación milonítica (de 0 a 30°). El resto de los ángulos de fracturación fueron agrupados en intervalos de 20 grado.

Este diagrama permite reconocer la cantidad de fracturas que se encuentran dentro de un mismo intervalo de fracturamiento Fig. 22, cada 20 grados (misma asociación de plano de esfuerzo) descritos en la rosa de los vientos. Se reconoce que la dirección de la mayor presencia de fracturamiento se encuentra con dirección o rumbo N40 a N60E. .

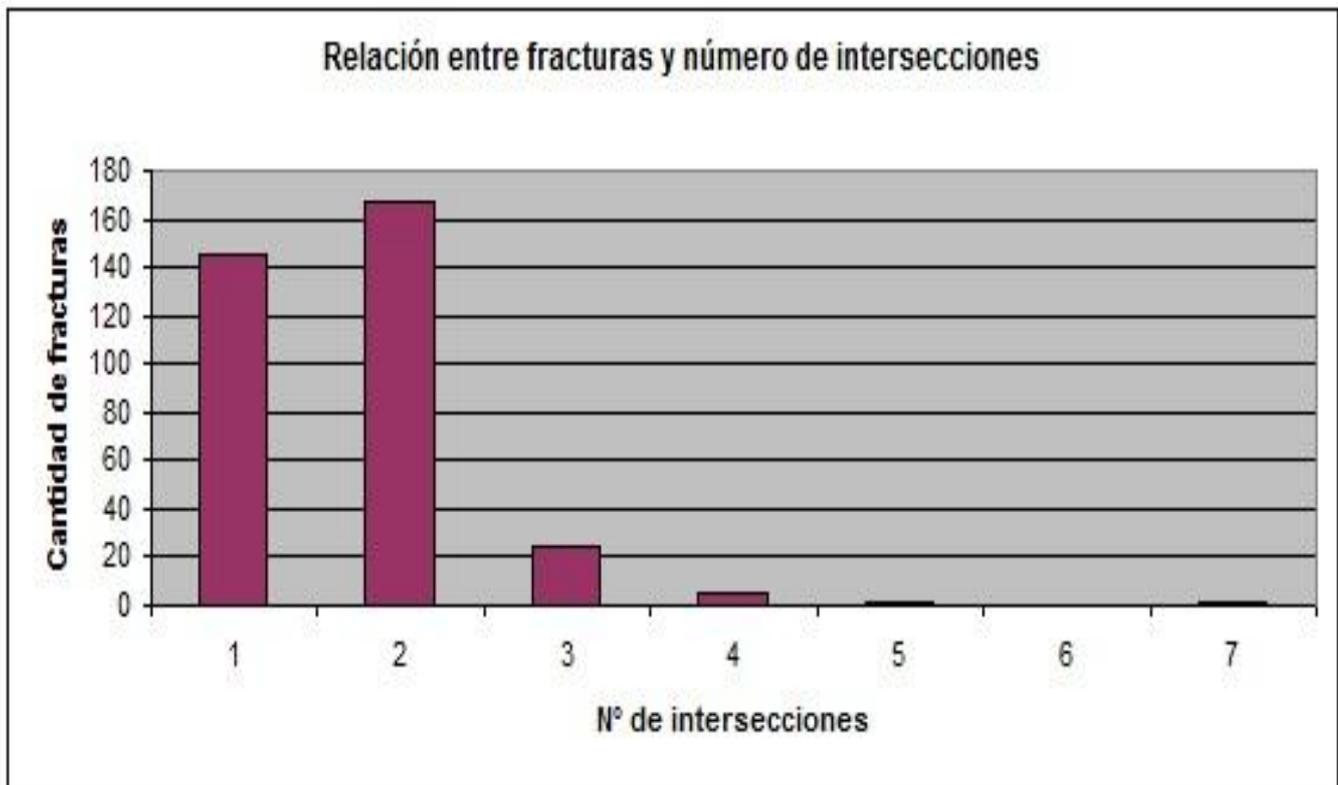


Fig. 21 Gráfico de relación entre la cantidad de fracturas que presentan una determinada cantidad de intersecciones.

Fracturamiento Efectivo 1:20000

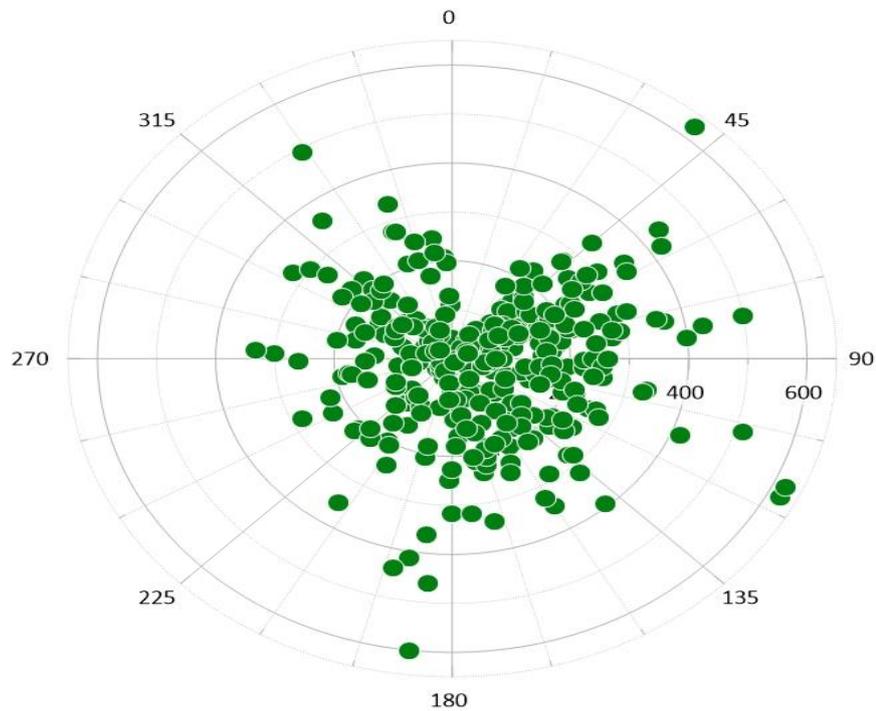


Fig. 22 Rosa de los vientos con las direcciones principales del fracturamiento del área, tanto por análisis de fotolectura como luego de realizado el filtrado sobre la dirección establecida como deformación dúctil 1:20000 del ortomosaico.



b) Ortomosaico escala

1/5000

Para este análisis se utiliza el mismo ortomosaico que el de la escala 1:20000, sin embargo la fotointerpretando a escala 1:5000.

El área de estudio es también de aproximadamente 20km² y se describe de SN el relevamiento a escala 1:5000 realizado Fig. 23.

El número de fracturas reconocidas es de 749, sin embargo luego del filtrado para el fracturamiento efectivo se obtuvo un total de 708 fracturas. La suma total de 94232 m lineales de fracturamiento.

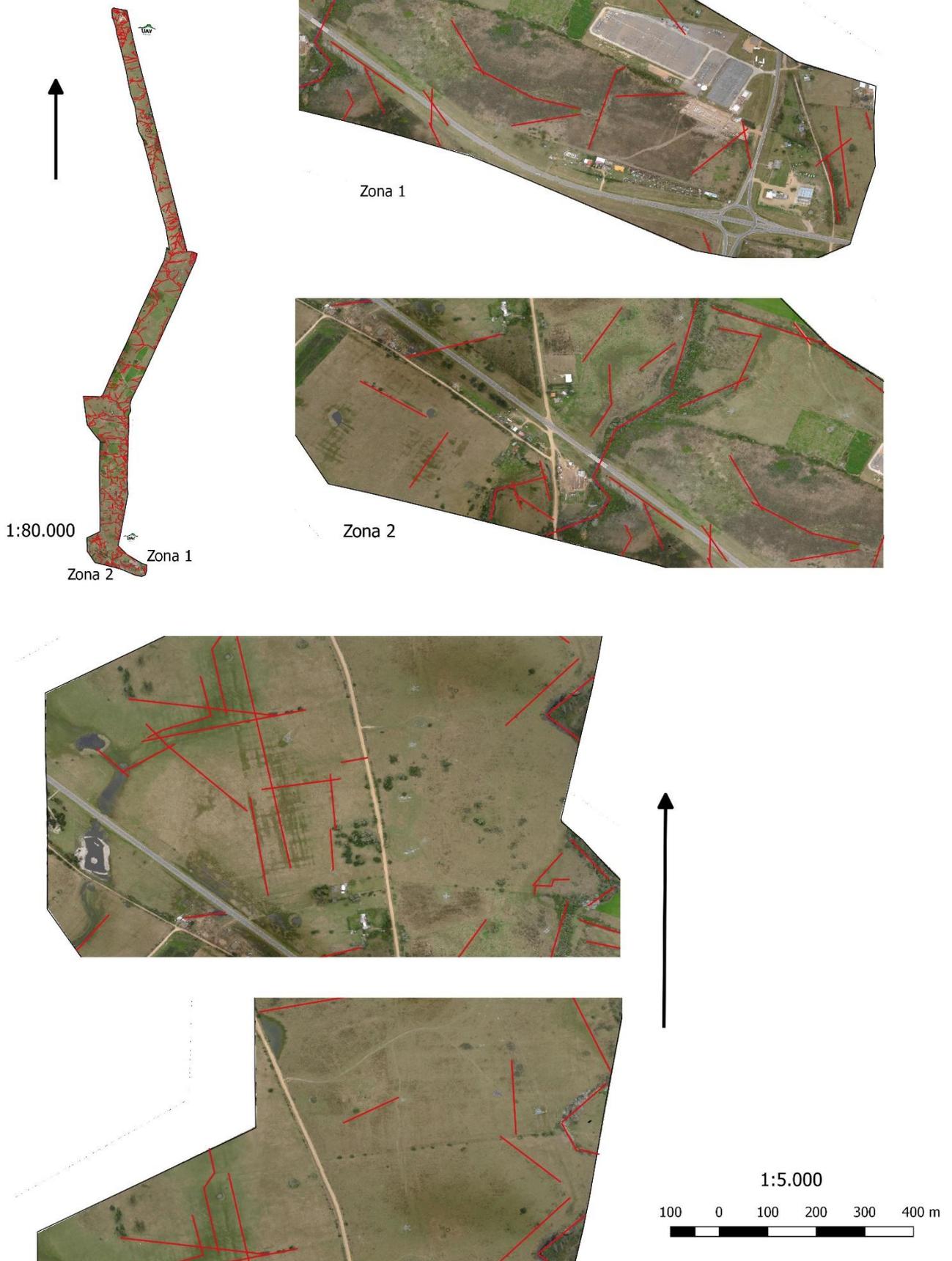
La densidad del fracturamiento a nivel área obtuvo un valor de 3.5×10^{-5} fracturas/m² o 35.6 fracturas/ km², mientras que a nivel lineal el valor fue de 0.0075 fracturas/m.

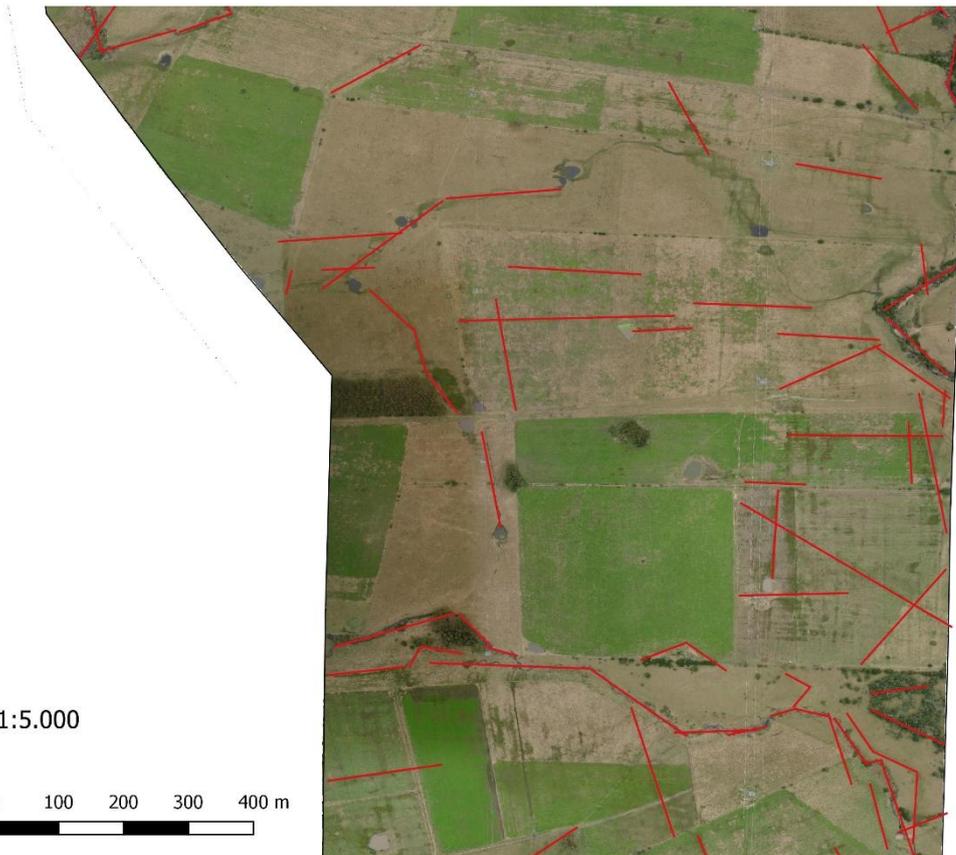
El rango de interconexiones del fracturamiento va de 7 a 0.

Se puede observar la relación estadística de mayor cantidad de interconexiones en los totales 1 y 2 cantidad de intersecciones, Fig. 24.

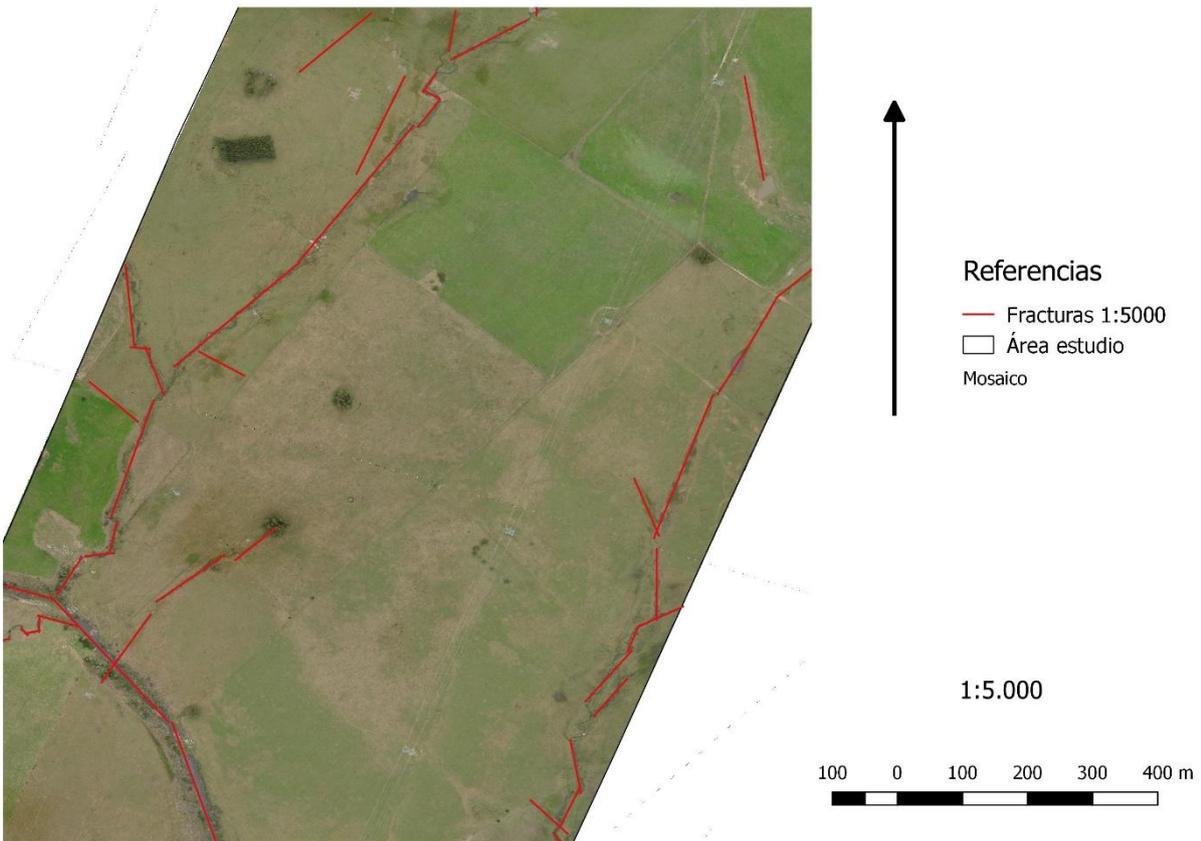
Por otra parte, la rosa de los vientos permite evaluar las direcciones principales del fracturamiento del área, tanto por análisis de fotolectura como luego de realizado el filtrado sobre la dirección establecida como deformación dúctil 1:5000 del ortomosaico, Fig. 25. Donde se reconoce que la dirección principal del fracturamiento ocurre en el intervalo de 80 a 100 grados, teniendo por tanto una dirección principal Este.

Fracturamiento 1:5000 sobre
ortomosaico de estudio







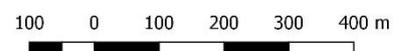


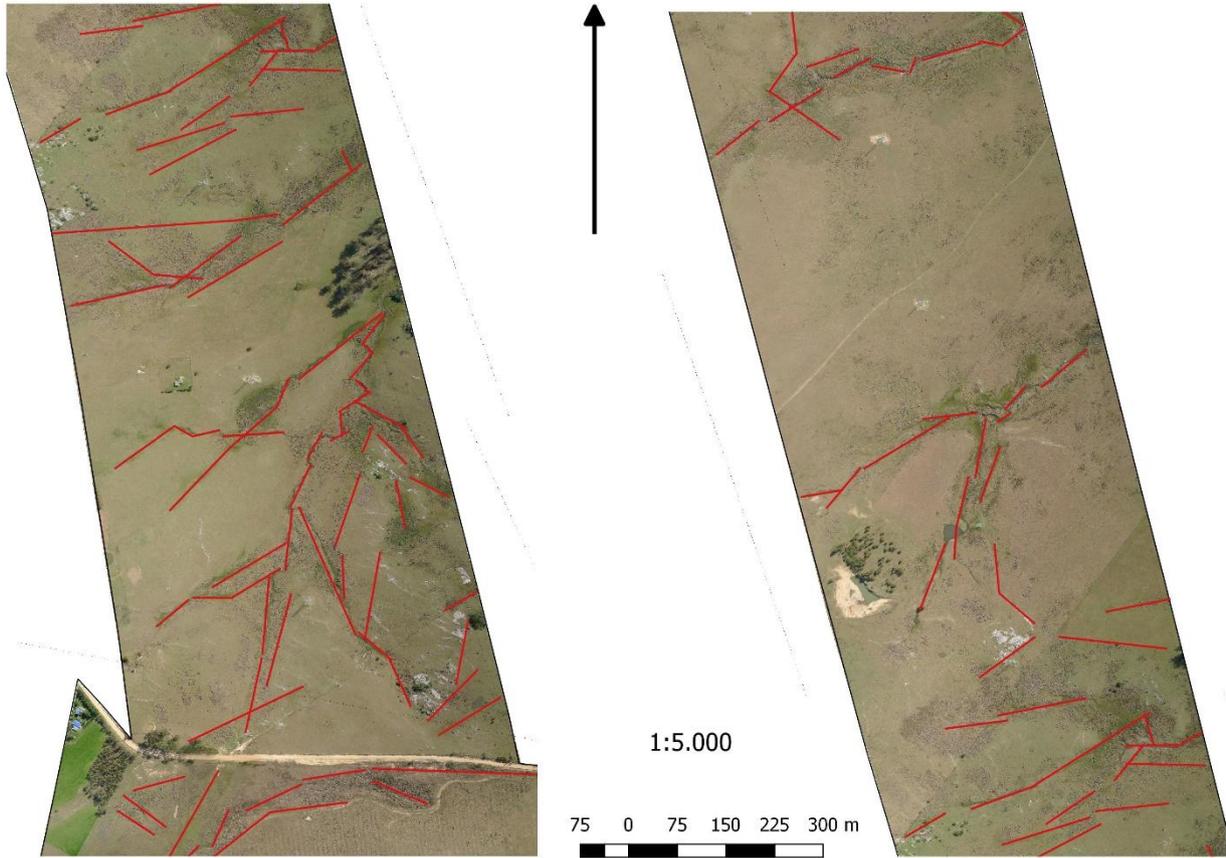


1:5.000



1:5.000





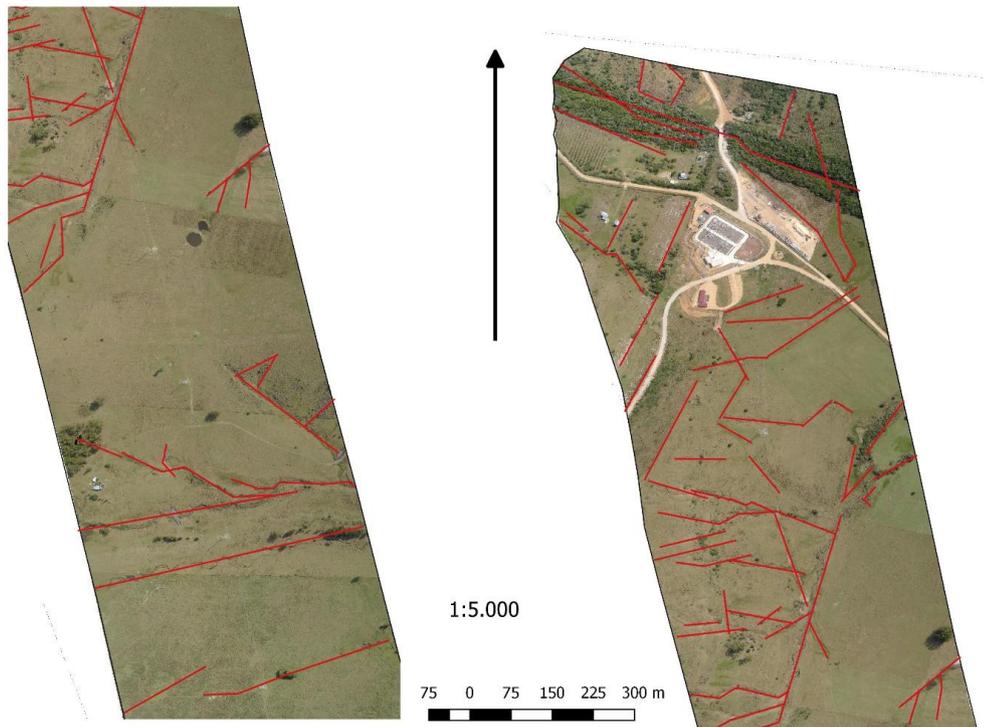
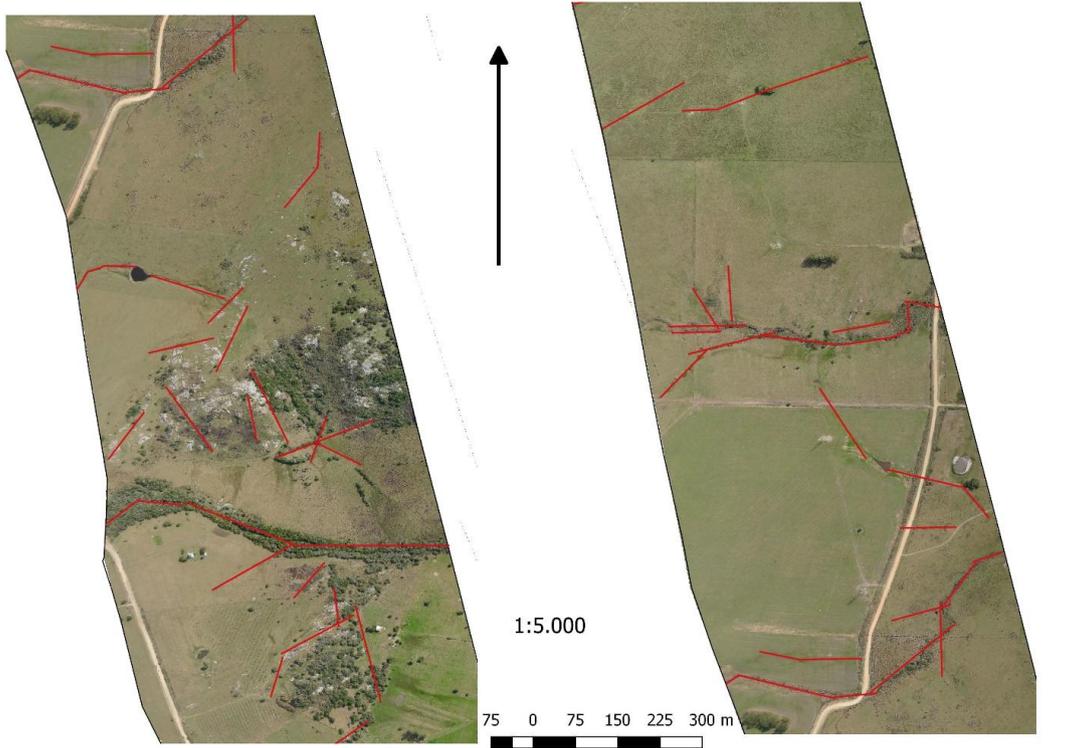


Fig. 23. Descripción a escala 1:5000 del área de estudio con el relevamiento del fracturamiento representado.

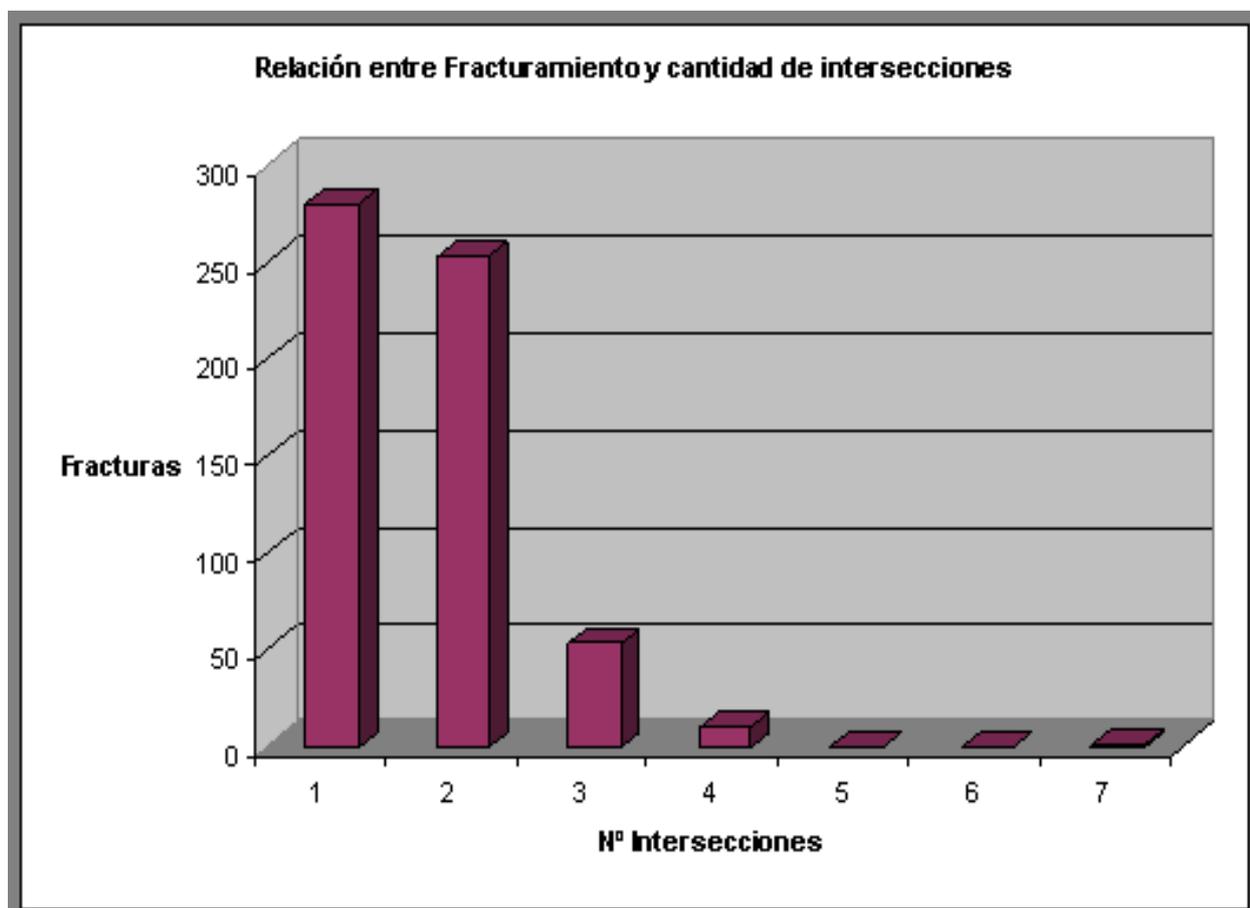


Fig. 24 Gráfico que relaciona la cantidad de fracturas que presentan el mismo número de intersecciones.

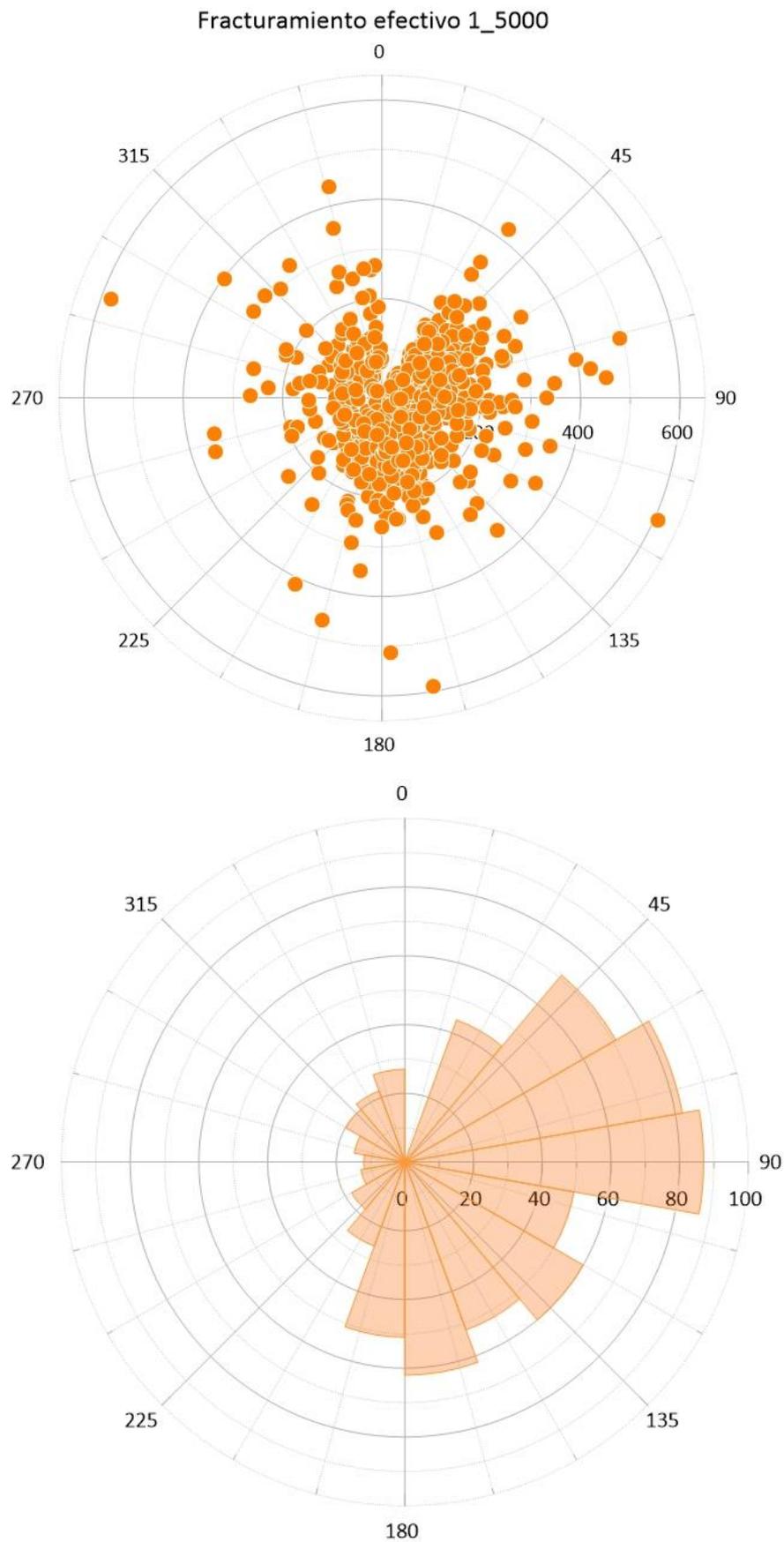


Fig. 25 Rosa de los vientos de las direcciones principales del fracturamiento del área, tanto por análisis de fotolectura como luego de realizado el filtrado sobre la dirección establecida como deformación dúctil 1:5000 del ortomosaico.

c- Proceso analógico de: Fotointerpretación de las imágenes aéreas 1:20000

El área descrita Fig. 26 se encuentra delimitada en color negro y en fucsia las fracturas contabilizadas, dado que en algunos casos, se excedió en parte el área delimitada por el ortomosaico.

El proceso de filtrado de la fotointerpretación de las fotos aéreas contó de dos partes:

- 1) Digitalizar todas las fracturas que habían sido posible relevar con el área definida en las fotografías aéreas, similar al ortomosaico.
- 2) Una vez digitalizadas se recortaron las fracturas que pertenecían al área de estudio, eliminando todas las que no pertenecían al área del ortomosaico.
- 3) Se generó un espacio de duda entre aquellas fracturas que pertenecían en parte al área del ortomosaico pero extendían su longitud por fuera de dicha área. En general, esas fracturas además se reconocían principalmente en la zona al Norte del área de estudio.
- 4) Se definió realizar un análisis de las fotografías a escala 20000 por fotolectura del ortomosaico y contrastarlo con la fotointerpretación de la fotografía aérea.
- 5) Se eligió dejar las fracturas que estaban excediendo o recortando más de 2 fracturas que pertenecían al área de estudio, puesto que era una característica que solo podía observarse con las fotografías aéreas.
- 6) Varias de las fracturas que excedían el ortomosaico por medio de la fotointerpretación de las imágenes aéreas, en el ortomosaico, no llegaban a tocar los bordes del área, por tanto era relativamente menos perceptible su continuidad lateral.

Se obtuvo por medio de un estereoscopio un total de 408 fracturas relevadas las fotografías aéreas 1:20000 Fig. 26.

El área total de inspección fue de 18.2 km².

Del proceso de edición de las fracturas y reajuste al área (de conexión con el ortomosaico) dentro del software Qgis, permitió redelimitar el área real de conteo, obteniéndose, 268 fracturas que luego de aplicado el filtrado por la dirección N0 a N30°, se obtuvo 249 fracturas efectivas, cuya longitud promedio de 307.7 m, con un rango de máxima longitud de 1380m y mínimo de 60m.

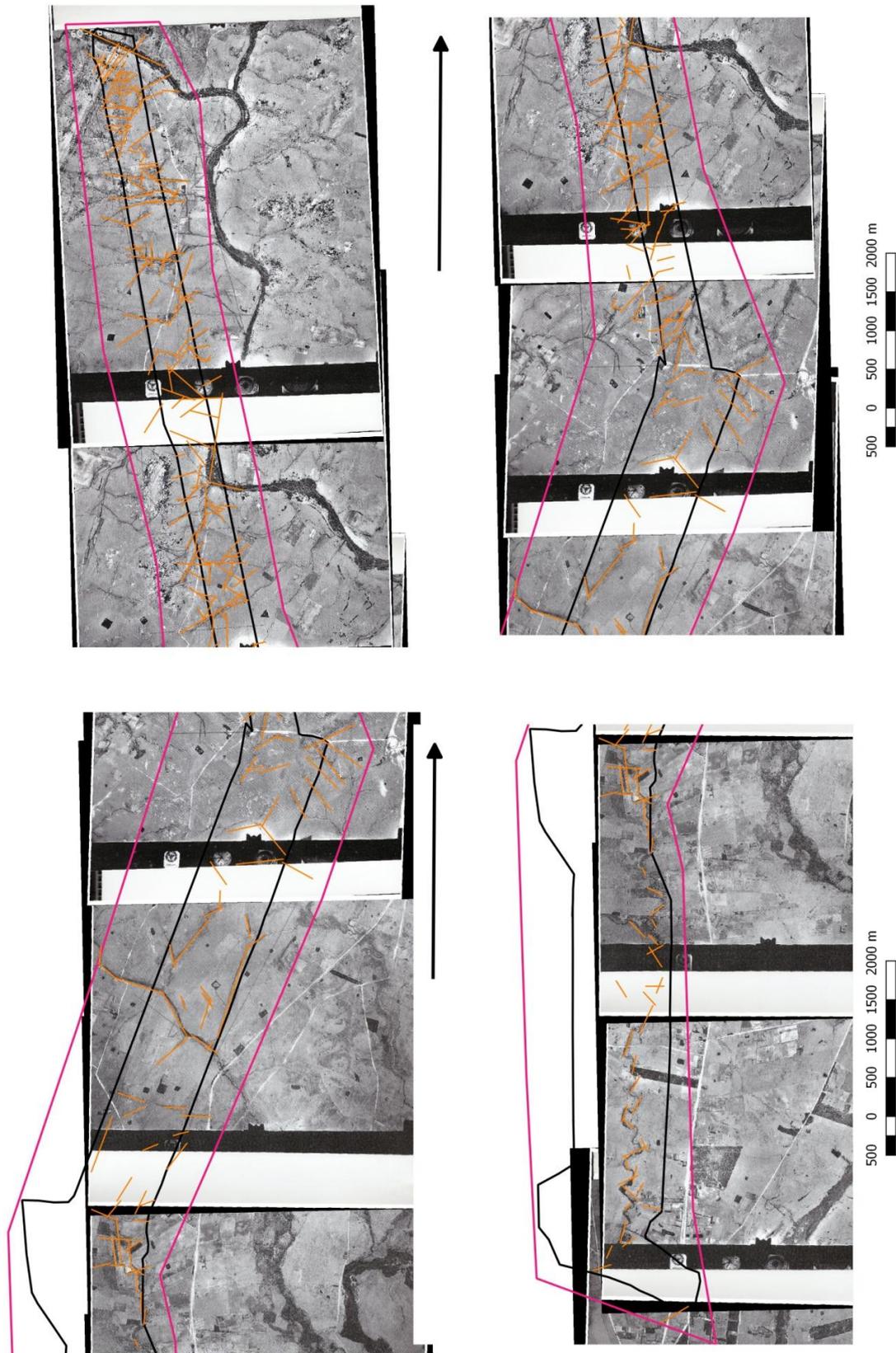


Fig. 26. Imagen área de digitalización de fracturas fotointerpretadas en Qgis.

La cantidad de interconexiones halladas varió entre 0 a 9 conexiones por fractura cuantificada. La cantidad promedio de interconexiones por fractura fue de 2,0, Fig. 27.

Con valores de densidad lineal en el área de estudio fue de 13.7 m y la densidad área de fracturas comprendió un de 0,0031 fracturas por metro cuadrado analizado.

Según la fotointerpretación analógica se puede determinar una persistencia del fracturamiento moderado a leve. .

La Rosa de los vientos permite reconocer la cantidad de rumbos de fracturas reconstruidas a lo largo del proceso de fotolectura, con una predominancia en la dirección Este, con ángulos entre los 80 y 100 grados. Fig. 28.

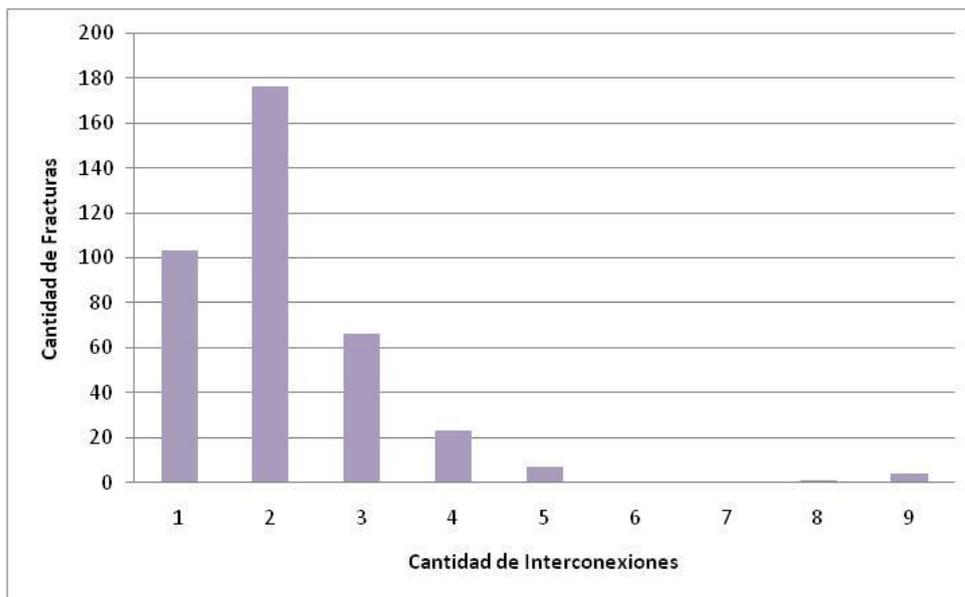


Fig. 27 Gráfico de cantidad de fracturas por cantidad de interconexiones en la fotointerpretación a escala 1:20000 con estereoscopio.

Fracturamiento Efectivo 1:20000 fotoaérea

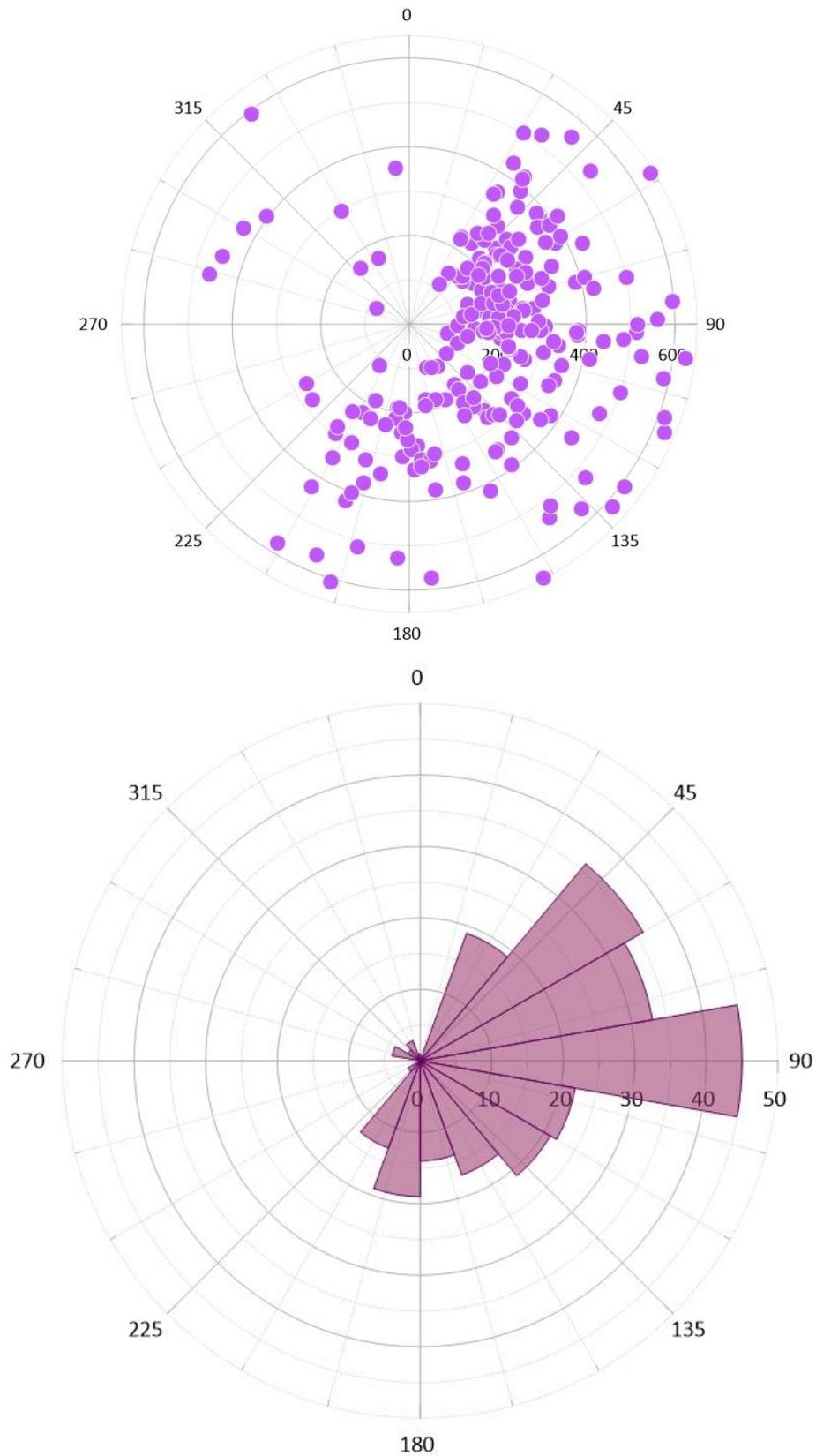


Fig. 28 Rosa de los vientos de las direcciones principales del fracturamiento del área, tanto por análisis de fotolectura como luego de realizado el filtrado sobre la dirección establecida como deformación dúctil 1:20000 con fotos aéreas pancromáticas.

Comparación entre los métodos digitales del análisis y el modelo analógico

En primera instancia se realiza un análisis comparativo entre los dos modelos de fotolectura o fotointerpretación a misma escala de trabajo. Para ello se contrasta la información obtenida de las imágenes aéreas 1:20000 y el ortomosaico 1:20000.

Se obtiene que son tanto la densidad lineal como areal similares para ambos métodos, por tanto no se estaría identificando diferencias mayores a un 10%. En el caso de la densidad areal es mayor el reconocimiento de fracturas por parte de la fotografía aérea pancromática mientras que es un 53% mayor la densidad lineal del modelo de ortofoto generado por el vuelo con dron.

Se constata una diferencia significativa en la longitud promedio de las fracturas, siendo un 44% mayor la longitud promedio en el relevamiento tradicional con fotografía aérea con respecto al ortomosaico generado por el dron.

Por último, se contabiliza el doble en cuanto a la cantidad de interconexiones por fractura hallada en el modelo del relevamiento por fotografía aérea tradicional. Siendo, 2 interconexiones promedio mediante este modelo, frente a 1 interconexión para el ortomosaico.

Estos dos últimos parámetros analizados si presentan cierta relevancia frente a la prospección hídrica puesto que la longitud promedio de las fracturas estarían brindando el potencial ingreso del recurso hídrico a subsuperficie, así como, la cantidad de interconexiones brindan la posibilidad de un mayor volumen hídrico y posibilidad de captación o acumulación de este. Fig. 29

El área de estudio digitalizado en ambas escalas 1:20000 y 1:5000 fue de 19810017 y 19886748 respectivamente. Generando una diferencia del 0.4% en la medida del área.

Al aumentar la escala de 1:20000 a 1:5000, la variación en la densidad del fracturamiento entre los ortomosaico sufrió un incremento del 98% y el fracturamiento lineal un incremento del 77,3%.

Esta diferencia para la densidad lineal y área ha sido también constatada en el análisis comparativo entre el ortomosaico a escala 1:5000 con las fotografías aéreas a escala 1:20000. Sin embargo, en ambos casos e independientemente de la escala digital, la longitud promedio del fracturamiento, así como la cantidad de interconexiones halladas no han superado el modelo analógico.

La dirección principal del fracturamiento presentes tanto en el caso B y C en el análisis se encontró una predominancia Este – Oeste. Sin embargo, para la fotolectura del ortomosaico (caso A) a escala 1:20000 se encontró predominancia del fracturamiento en la dirección N40 a N60 E, continuada con una predominancia secundaria de la dirección N60 a N80 E.

	Imágenes aéreas (1:20000)	Ortomosaico (1:20000)	Ortomosaico (1:5000)
Total de fracturas:	369	401	749
Fracturas efectivas:	249	357	708
Área en km²	18,2	19,8	19,9
Área en m²	18197600	19810017	19886748
Cantidad promedio de interconexiones	2.0	1	1.3
Cantidad máxima de interconexiones	9	7	7
Cantidad mínima de interconexiones	0	0	0
Longitud promedio del fracturamiento (m)	307,7	172,24	132,9
Densidad área del fracturamiento (fracturas/km ²)	13.7	18.0	35.6
Densidad lineal del fracturamiento (fracturas/m)	0.0031	0.0058	0.0075
Persistencia del fracturamiento	Moderada a leve	Moderada a leve	Moderada
Dirección Principal de fractura	80 a 100° (E)	40 a 60° y 60 a 80°.	80 a 100° (E)

Fig. 29 Tabla resumen comparativo de los métodos analizados y escala de trabajo.

Conclusiones

- 1) La prospección hidrogeológica en acuíferos fracturados presentan cierta complejidad a la hora de evaluar el ingreso del recurso al sistema subsuperficial. Se reconoce que el área presenta en términos generales un moderado nivel de fracturamiento que permitiría un potencial hídrico moderado también.
- 2) El análisis del fracturamiento permitió reconocer que frente a la densidad lineal y área a misma escala de trabajo se mantiene homogénea tanto para el ortomosaico generado por un dron como el relevamiento por fotografía aéreo.
- 3) La densidad lineal y área obtuvo un valor muy significativo al aumentar la escala de trabajo en el ortomosaico de 1:20000 a 1:5000.
- 4) La longitud promedio de las fracturas no sufrió una variación significativa al aumentar la escala en el ortomosaico de 1:20000 a 1:5000, razón por la cual se puede determinar que se logró reconocer mayor cantidad de fracturas, pero de menor longitud individual.
- 5) El modelo de fotointerpretación de las fotos aéreas permitió un reconocimiento de un 40% mayor longitud de las fracturas, respecto tanto al ortomosaico a igual escala o a mayor detalle. Esto puede deberse a una mayor sensibilidad en la visualización en tres dimensiones que permite la estereoscopia y que podría aumentar la sensibilidad la percepción de los cambios estructurales geomorfológicos.
- 6) La fotointerpretación de las fotografías aéreas permitió reconocer un porcentaje 100% mayor de intersecciones por unidad de fractura que el ortomosaico a misma escala de trabajo. Al aumentar la escala del ortomosaico a 1:5000 esta diferencia disminuyó en un 30%, pero aún no logró alcanzar el nivel de detalle de interconexión que la fotografía pancromática. Esto implicaría un segundo factor a incorporar en que la posibilidad de observación en tres dimensiones incrementa la visualización de pequeños cambios estructurales a nivel geomorfológicos, como el fracturamiento.
- 7) El nivel de detalle de las interconexiones estaría ligado a la diferencia en la distancia relativa perceptible por el observador, de cada fractura individualmente. Puesto que, a mayor longitud existirá mayor probabilidad de observar una interconexión entre 2 o más fracturas.

- 8) En el diagrama de rosa de viento se puede observar que existe una tendencia hacia el Este – Oeste tanto derivado del proceso de fotointerpretación de las fotos aéreas como en el caso de las fotolecturas del ortomosaico a escala 1:5000. Mientras que se deriva de la fotolectura del ortomosaico generado por el Dron a escala 1:20000 una dirección principal N40E a N60E, es decir Noreste – Suroeste, principalmente.
- Esto podría resaltar el hecho que tanto aumentando la escala de trabajo como a partir de las fotolecturas se podría aumentar la percepción del fracturamiento, observando una incremento en ciertas direcciones de fracturamiento que a escala 1:20000 con el ortomosaico aún no serían tan sencillas observar.
- 9) Sería necesario lograr evaluar en trabajo posterior el ancho relativo del fracturamiento, el nivel de alteración de la roca y la inclinación y ángulo de buzamiento de las fracturas. En caso de tener datos sobre pozos cercanos se debería realizar un monitoreo de la profundidad relativa de la napa de agua, del material alterado y/o fracturado (napa de agua en caso de existir, a modo de reconocer la infiltración efectiva posible y de rumbo y buzamiento del fracturamiento).
- 10) En caso de tener datos sobre pozos cercanos, realizar un monitoreo de la profundidad relativa del material alterado y/o fracturado.



Bibliografía

- Ana Lafourcade. 2019 “Migración y espacio social en Maldonado” Volumen 1 (1) Revista Latinoamericana de Humanidades Ambientales y Estudios Territoriales ISSN 2697-2719. Brazeiro A, Panario D, Soutullo A, Gutiérrez O, Segura A y Mai P. 2012 “Clasificación y delimitación de Eco-regiones de Uruguay”. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR. 40p.
- Bossi, J; Campal, G; Preciozzi, N; Porta, F. 1993 “Predevoniano en el Uruguay” v1. Terreno Piedra Alta., Miem, Dinamige, Montevideo.
- Bossi J., Ferrando L., Montaña J., Campal N., Morales H., Gancio F., Schipilov A., Piñeyro D. & Sprechmann P. 1998 “Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000. Fac. Agronomía, UdelaR
- Bossi, J. Gaucher, C. 2004 “The Cuchilla Dionisio Terrane, Uruguay: an allochthonous block accreted in the Cambrian to SW-Gondwana” GONDWANA RESEARCH., 7(3), 661-674
- Campal, N; Schipilov, A. 1995 “The Illescas bluish quartz rapakivi granite (Uruguay-South America)” Revista Investigaciones | 2018 | Volumen 1 | Número 2 13 some geological features. Paper presented at Symposium on Rapakivi Granites and related rocks, Academia Brasileira de Ciências, Belém, Brazil
- Carlos, J; Domingo A; Sánchez, M. 2015. “Aplicaciones de los drones a la prospección y explotación de recursos minerales” Universidad Politécnica de Madrid - E.T.S.I de Minas y Energía, Ldo. CC. Geológicas.
- Chebataroff, J. 1969 “Relieve del Terreno. Geomorfología costas. Río de la Plata Uruguay” Geografía. Ciencias Físicas y Naturales. Montevideo: Nuestra Tierra.



- Colegial, J.D; Gómez, S; Rojas, N 2006 “Cartografía geológica y caracterización estructural de la subcuenca de la Quebrada Río Sucio, Municipio de Tuna, Santander, orientados a definir un modelo hidrogeológico conceptual” Boletín de Geología, vol. 28, núm. 2, julio-diciembre, 2006, pp. 49-61 Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia.
- Cook, P.G. 2003 “A guide to regional groundwater flow in fractured rock aquifers, Land and water” Adelaide, Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).
- Custodio, E; Llamas, MR 1996 “Hidrología Subterránea” 2º Edición. Vol. I y II. Editorial Omega – Barcelona – España

- Diario oficial, “Nº 29.039 de 4 de Setiembre de 2014 (ordenamiento básico DRONES, UAV, etc.) “Poder ejecutivo Ministerio de defensa Nacional Dirección Nacional de Aviación Civil e Infraestructura Aeronáutica” DI.N.A.C.I.A ” Resolución 291/014Fenercom, 2015, “Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil”, Madrid. Cap. 1, 5 y 7.
<https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Los-Drones-y-sus-aplicaciones-a-la-ingenieria-civil-fenercom-2015.pdf>
- Fernández-Lozano, J.; Gutiérrez-Alonso, G. 2016 “El pliegue de Llumeres: aplicación de los drones para el estudio geológico estructural 3D”, XI Congreso Geológico de España, Geo-temas, 16 (1) ISSN 15765172
- Ficha técnica para el Sony Alpha a 6000 utilizado para la realización del vuelo fotogramétrico y el ortomosaico.
Link: <https://todo-fotografia.com/camaras/sony-alpha-a6000-ficha-tecnica/>



- Fragoso, C, A. R. S. 1980 “O Cráton do rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio – sul –riograndense. In: XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, (5): 2879-2892. Camboriú. Gaucher, C. 2012 “Geología general 1 Precambrio Uruguay” Material didáctico. Gomila, R., Arancibia, G., Veloso, E., 2015 “Mapeo en detalle de estructuras geológicas mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (drones): un ejemplo en el Sistema de Falla de Atacama, norte de Chile”. 14905, v1 pp_89_91. pdf. XIV Congreso Geológico Chileno, La Serena.
- Gutiérrez, J. 2014 “Ingeniería para tropas, Manual básico de topografía y cartografía del Instituto Geográfico Militar de Chile” Parque eólico Link: <http://portal.ute.com.uy/sites/default/files/documents/files/institucional/GA%20EIA%20Parque%20Eolico%20Caracoles.pdf>
- Informe técnico CSI Agrimensores SA, 2010, UTE, “Parque Eólico, Sierra de los Caracoles”. Link: file:///C:/Users/hp/Downloads/IAR_AAE_UTE_Pque_Eolico_Sierra_de_Caracoles.pdf
- Maldonado, S., Piñeyro, D., Bossi, J. 2003 “Terreno Piedra Alta – Aporte a la estratigrafía del basamento cristalino del Uruguay” Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. Publicación Especial N° 1, 18–37
- Moisés, C.; Sacasas, C; Pérez Lazo, J. 2014, “Criterios para localizar zonas acuíferas en Caimbambo, Angola” RIHA vol.35 no.3
- Olimber, C. 2016 “Agua subterránea de la Cuenca del Plata”, Concepto: Persistencia, pp. 99.
- Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K. et al. 2010 “The Sierra Ballena Shear Zone in the southernmost Dom Feliciano Belt (Uruguay): evolution, kinematics, and deformation conditions” Int J Earth Sci (Geol Rundsch) pág. 99: 1227. <https://doi.org/10.1007/s00531-009-0453-1>.
- Oyhantçabal, P. 1998, “Estructura Geológica, Asociaciones Litológicas y potencial de Recursos Minerales en el Área Minas-Sierra de los Caracoles”.
- I, P. 1993 “Geología do extremo sul da Formação Sierra de Animas (Uruguay)”.
- Plan estratégico 2015 – 2020 (MVOTMA 2015) Red Física de Sitios de Interés SNAP Información detallada Sierra de los Caracoles – F28, actualización 3/5/2017.
- Piras, G. Taddia, M. G. Forno, M. Gattiglio, I. Aicardi, P. Dabove, S. Lo Russo; A. Lingua 2017 “Detailed geological mapping in mountain areas using an unmanned aerial vehicle: application to the Rodoretto Valley, NW Italian Alps, Geomatics, Natural Hazards and Risk” 8:1, 137-149, DOI: 10.1080/19475705.2016.1225228.



- Preciozzi, F., Masquelín H., SANCHEZ, L. 1993 “Geología de la Porción sur del Cinturón Cuchilla de Dionisio” En: Guía de Excursión del Primer Simposio Internacional del Neoproterozoico-Cámbrico de la Cuenca del Plata, Montevideo.
- Sánchez, L.; Peel, E.; Masquelin, H. 2010 “Neoproterozoic tectonic synthesis of Uruguay, International Geology” Review, 52:1, 51-78, DOI: [10.1080/00206810903358095](https://doi.org/10.1080/00206810903358095)
- Servidor de <http://www.cartomap.cl/utfsm/> para la búsqueda de plataformas de archivos digitales de Chile.
- Spoturno. J; Oyhantçabal,P; Loureiro, J. 2013 “Mapa geológico y de Recursos Minerales del Departamento de Maldonado” Libro publicado compilación.
- Spoturno, J.; Loureiro J.; Oyhantçabal P.; Pascale A. 2012 “Mapa Geológico del Departamento de Maldonado a escala 1:100.000”. (Convenio: DINAMIGE- Facultad de Ciencias).



ANEXO

Índice del anexo:

Hoja	Descripción	Figura
77	Análisis estadísticos e imagen área de trabajo	30-33
79	Tabla del análisis del fracturamiento a escala 1:20000 para las fotos aéreas y el análisis matemático.	33
83	Tabla del proceso de relevamiento del fracturamiento a escala 1:5000	34
90	Tabla del análisis del fracturamiento a escala 1:20000 digital por fotolectura en el ortomosaico.	35
97	Tabla de especificaciones del Dron	36

Fotointerpretación de las fotografías aéreas a escala 1:20000

Interconexiones	Cantidad de Fracturas
0	28
1	103
2	176
3	66
4	23
5	7
6	0
7	0
8	1
9	4
Cantidad de fracturas	408
Sumatoria de cantidad de interconexiones	824
Promedio interconexiones	2,019607843

Fig. 30 Tabla de conexiones de fracturamiento

Foto aérea N°	Área de estudio (cm a 1:20000)	Relación lineal a escala (km)	Relación lineal a escala en km	Área (km ²)
60-063	20 cm * 7,0 cm	4	1,4	5,6
60-061	6,5 * 6,6	1,3	1,32	1,716
60-060	7,2 * 15,4	1,44	3,08	4,4352
60-059	7,1 * 17,2	1,42	3,44	4,8848
60-058	6,1 * 6,4	1,22	1,28	1,5616

Fig. 31 Tabla fotos aéreas y áreas calculadas por el recorte de trabajo

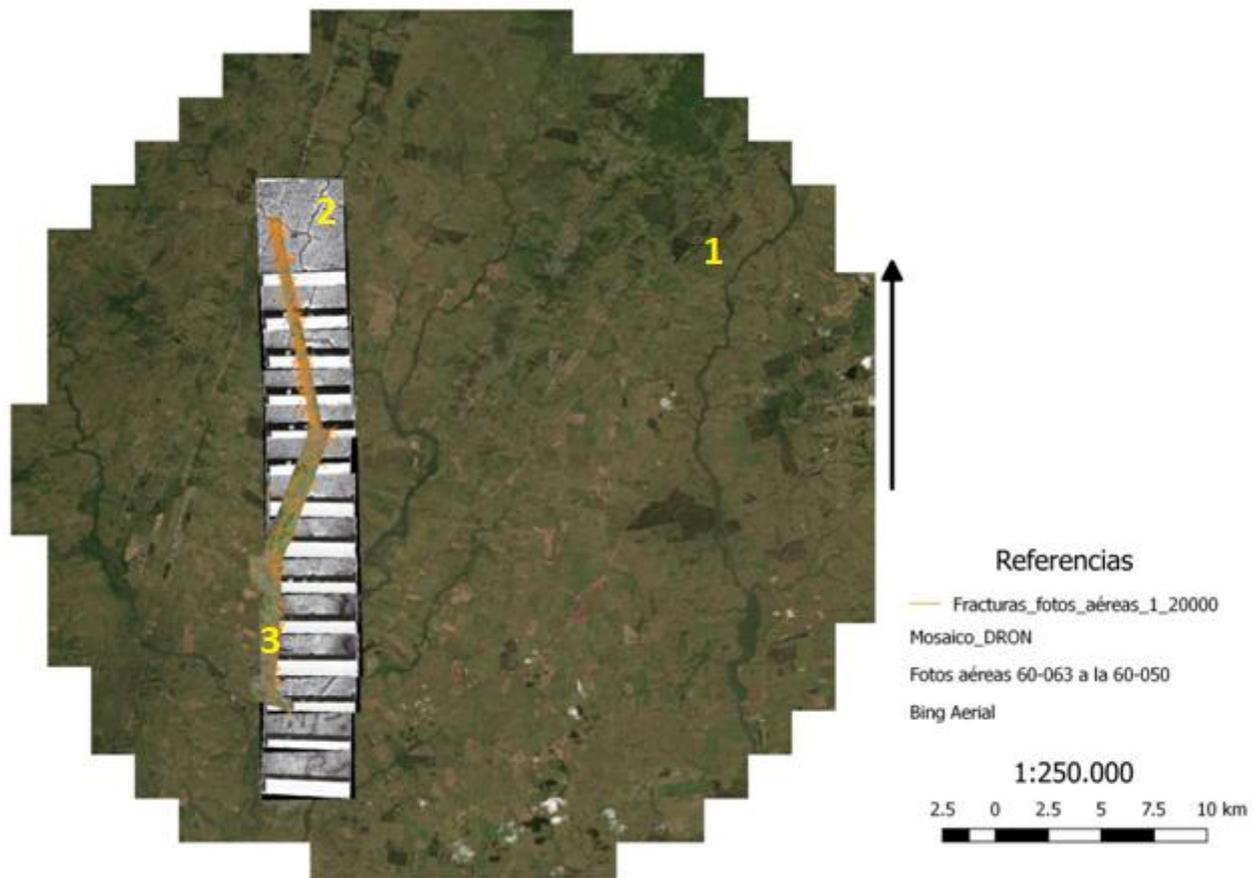


Fig. 32 Se describe el área y base de estructuras de trabajo en: 1) Imágenes de Google Earth. 2) Mosaico de las fotos aéreas escaneadas y fotointerpretadas a escala 1:20000 3) Ortomosaico generado con las imágenes del dron a escala de la visualización



id	Long	Azimut
1	90,24	104
2	144,58	15
3	108,66	92
4	118,57	30
5	379,86	51
6	274,77	176
7	190,66	85
8	138,16	71
9	226,58	208
10	169,64	57
11	254,42	93
12	259,58	49
13	387,3	76
14	115,73	146
15	153,9	51
16	179,91	18
17	297,71	206
18	153,31	45
19	81,62	296
20	174,75	168
21	685,19	44
22	214,66	77
23	216,91	77
24	371,87	196
25	118,44	112
27	231,23	113
28	359,42	43
29	292,2	49
30	148,11	94
31	414,95	101
32	382,06	49
33	231,49	77
34	273,26	22
35	218,04	52
36	178,95	85
37	163,2	79
38	299,31	183
39	250,45	26
40	188,52	154
41	348,41	210
42	328,22	128
43	272,06	107
44	738,17	61
45	217,53	69
46	107,09	128
47	379,39	123
48	250,86	52
49	161,57	48
50	170,66	143

51	681,49	179
52	575,58	211
53	285,11	118
54	382,04	94
55	283,23	179
56	423,05	200
57	446,96	125
58	363,35	53
59	513,35	92
60	286,91	126
61	233,92	29
62	416,8	38
63	201,2	93
64	285,84	53
65	200,29	183
66	302,87	60
67	180,91	85
68	296,83	42
69	342,83	191
70	326,5	75
71	124,81	82
72	625,44	113
73	391,16	144
74	222,78	82
75	346,63	145
76	261,61	106
77	208,6	99
78	206,72	76
79	527,22	183
80	262,74	26
81	465,14	284
82	1119,2	190
83	356,92	105
84	387,72	55
85	216,71	47
86	561,64	89
87	616,97	132
88	327,57	22
89	309,31	102
90	297,75	214
91	266,98	240
92	283,67	83
93	259,78	139
94	233,58	104
95	114,28	216
96	222,93	51
97	433,06	33
98	379,21	171
99	271,18	63
100	421,2	38



101	449,47	290
102	587,43	102
103	280,98	215
104	641,71	58
105	229,9	38
106	254,77	42
107	345,34	138
108	209,12	95
109	181,32	65
110	560,58	202
111	322,67	198
112	629,04	97
113	329	178
114	390,41	40
115	142,79	81
116	312,17	52
117	189,63	91
118	257,47	82
119	276,14	140
120	376,86	61
121	502,58	108
122	502,21	78
123	516,04	90
124	236,03	213
125	530,67	98
126	190,15	188
127	366,72	126
128	307,22	91
129	305,66	80
130	339,67	98
131	526,9	131
132	486,21	94
133	202,97	55
134	260,67	83
135	236,25	86
136	135,36	102
137	413,53	54
138	186,1	143
139	220,53	95
140	432,21	65
141	257,23	37
142	559	41
143	520,24	35
144	502,68	31
145	1173,9	115
146	306,9	127
147	188,07	204
148	230,86	202
149	696,39	208
150	204,85	91



151	197,26	91
152	197,29	90
153	201,94	86
154	259,07	53
155	193,5	92
156	377,65	161
157	383,14	92
158	475,33	115
159	327,98	97
160	295,96	93
161	167,58	96
162	199,61	58
163	217,65	51
164	170,33	74
165	607,56	197
166	307,76	175
167	207,58	129
168	292,31	89
169	181,98	46
170	310,9	38
171	283,1	71
172	111,61	30
173	569,86	137
174	538,9	144
175	708,92	65
176	593,07	323
177	409,71	75
178	417,32	154
179	229,82	103
180	336,11	159
181	358,01	34
182	358,7	59
183	514,69	193
184	608,31	127
185	224,92	74
186	424,54	79
187	427	211
188	518,87	142
189	597,28	85
190	432,45	300
191	310,75	171
192	272,13	63
193	244,71	184
194	741,09	40
195	296,74	169
196	614,53	110
197	325,69	132
198	215,44	188
199	275,99	232
200	1237,5	199

201	235,86	142
202	215,28	145
203	401,22	199
204	648,23	152
205	402,6	307
206	178,93	161
207	348,14	146
208	535,55	50
209	288,09	66
210	378,85	93
211	199,36	69
212	196	76
213	352,53	111
214	276,42	93
215	145,89	38
216	271,7	41
217	179,66	96
218	316,81	27
219	348,02	33
220	215,78	78
221	173,96	93
222	315,31	71
223	343,63	114
224	574,09	175
225	322,74	175
226	211,83	72
227	744,78	22
228	415,17	38
229	228,75	121
230	440,91	95
231	264,89	57
232	353,12	355
233	259,64	181
234	234,24	182
235	105,02	158
236	203,42	116
237	207,29	53
238	166,07	319
239	189,47	187
240	295,52	329
241	208,06	23
242	277,79	137
243	109,4	153
244	224,97	91
245	220,25	139
246	385,03	27
247	355,89	20
248	240,39	149
249	228,12	31
250	228,71	62

251	223,83	18
252	223,71	31
253	233,59	193
254	164,01	335
255	345,43	68
256	190,18	17
257	265,05	66
258	187,7	169
259	170,55	130
260	295,07	16
261	189,84	55
262	227,29	87
262	237,48	72
263	166,47	25
264	288,62	135
265	229,52	103
266	113,15	37
267	154,91	29
268		60

Fig. 33 Cantidad de fracturas relevadas, su longitud medida sobre la fotografía aérea y el cálculo en base a la escala para su representatividad.



id	Num_inters	Long_m	Azimet
1	1	172	352
2	0	45	168
3	1	192	155
4	1	64	159
5	1	163	64
6	1	116	66
7	2	56	31
8	2	58	148
9	2	137	22
10	2	156	55
11	2	123	143
12	0	83	83
13	1	262	15
14	0	51	163
15	1	89	133
16	1	133	227
17	2	73	157
18	2	132	45
19	1	42	108
20	1	242	338
21	2	200	188
22	2	127	124
23	2	92	130
24	1	133	39
25	2	92	140
26	2	41	86
27	1	40	146
28	4	172	31
29	3	83	324
30	3	63	259
31	3	104	284
32	2	73	184
33	2	156	141
34	4	154	133
35	0	54	137
36	1	48	109
37	3	108	191
38	2	111	139
39	2	218	198
40	1	102	176
41	0	233	176
42	2	124	35
43	2	77	161
44	1	152	186
45	1	30	128
46	1	44	125
47	2	54	57
48	1	154	34
49	1	109	114
50	0	99	211
51	2	286	138
52	3	85	204
53	1	454	85
54	3	186	110
55	0	102	140
56	1	123	128
57	2	97	191
58	2	152	163
59	4	187	165
60	1	39	125

61	2	192	131
62	2	98	151
63	2	26	79
64	1	60	76
65	1	38	72
66	3	245	94
67	1	51	290
68	2	74	321
69	1	193	252
70	1	82	154
71	1	72	160
72	0	128	301
73	1	46	338
74	0	87	82
75	1	138	320
76	2	137	54
77	2	87	68
78	2	65	4
79	2	97	190
80	0	162	58
81	1	176	86
82	2	101	33
83	3	80	351
84	3	194	36
85	3	94	270
86	2	97	73
87	1	61	328
88	1	88	60
89	1	117	353
90	2	125	301
91	4	246	172
92	2	44	323
93	2	68	192
94	2	74	266
95	2	178	82
96	3	312	304
97	2	109	221
98	2	74	99
99	2	84	76
100	1	136	51
101	1	98	175
102	3	109	106
103	1	265	283
104	2	69	247
105	3	173	338
106	0	67	350
107	3	253	161
108	1	94	161
109	3	71	137
110	2	71	84
111	3	90	235
112	2	141	185
113	1	45	122
114	1	47	202
115	1	175	137
116	1	59	61
117	2	108	226
118	2	105	173
119	1	34	45
120	2	130	310



121	2	31	65
122	3	80	48
123	2	74	151
124	2	136	80
125	2	74	94
126	0	236	178
127	3	117	141
128	2	34	39
129	2	82	350
130	2	57	308
131	1	151	127
132	1	37	188
133	1	82	60
134	1	56	120
135	3	149	22
136	2	78	154
137	2	186	71
138	2	46	120
139	1	107	312
140	2	210	75
141	3	59	203
142	2	107	104
143	2	60	274
144	3	175	179
145	2	146	131
146	1	36	188
147	2	35	27
148	3	81	249
149	1	81	281
150	1	127	130
151	1	82	294
152	1	113	60
153	1	63	286
154	1	83	107
155	0	89	191
156	3	142	250
157	1	99	117
158	1	162	104
159	2	72	357
160	2	88	238
161	2	182	45
162	2	46	330
163	3	112	192
164	4	191	295
165	1	77	123
166	1	109	63
167	3	89	48
168	2	44	189
169	1	72	109
170	2	108	124
171	2	99	119
172	2	61	271
173	0	54	86
174	2	31	152
175	0	82	66
176	0	62	232
177	1	74	324
178	2	110	110
179	2	32	95
180	1	54	70

181	1	40	229
182	1	90	90
183	2	156	210
184	2	113	330
185	2	219	38
186	3	157	126
187	1	92	63
188	1	164	28
189	0	108	126
190	3	60	99
191	2	43	173
192	2	69	79
193	1	99	170
194	2	78	108
195	0	65	89
196	2	30	90
197	1	170	36
198	1	313	311
199	3	197	220
200	2	87	247
201	2	181	251
202	2	110	88
203	2	159	162
204	1	68	226
205	2	356	344
206	3	295	143
207	2	191	66
208	0	72	21
209	1	92	109
210	1	72	76
211	1	26	90
212	2	140	11
213	2	34	182
214	2	22	76
215	2	64	109
216	2	79	210
217	2	79	24
218	1	100	172
219	1	139	142
220	0	87	218
221	2	132	181
222	1	152	176
223	3	131	182
224	2	118	40
225	3	85	203
226	1	118	218
227	2	51	21
228	2	29	98
229	2	80	63
230	2	92	163
231	1	48	32
232	2	44	83
233	1	42	31
234	2	136	59
235	0	19	39
236	0	59	56
237	1	82	73
238	0	70	130
239	1	161	9
240	3	227	198



241	2	29	124
242	2	160	144
243	2	44	61
244	1	202	61
245	1	89	172
246	2	56	192
247	0	84	228
248	2	98	307
249	3	272	46
250	3	308	36
251	2	151	22
252	3	90	350
253	0	135	102
254	1	94	298
255	2	138	197
256	2	54	26
257	3	282	20
258	2	78	359
259	2	60	35
260	1	96	61
261	2	97	81
262	2	130	149
263	1	68	192
264	2	289	83
265	2	154	81
266	0	220	26
267	2	33	58
268	2	25	321
269	1	98	166
270	0	86	104
271	1	237	197
272	1	94	169
273	2	38	178
274	2	15	232
275	2	17	122
276	1	66	185
277	2	60	99
278	2	66	132
279	2	125	135
280	0	113	140
281	1	64	83
282	3	60	53
283	1	81	157
284	1	40	60
285	2	188	44
286	2	157	95
287	1	221	72
288	1	60	127
289	2	148	150
290	2	56	68
291	3	73	117
292	1	121	40
293	1	130	139
294	2	105	144
295	0	117	55
296	3	112	187
297	0	66	147
298	1	136	75
299	1	91	68
300	1	218	158

301	1	121	190
302	2	90	124
303	3	120	150
304	1	122	40
305	2	56	133
306	2	140	235
307	1	134	201
308	1	179	90
309	1	93	87
310	2	33	320
311	2	58	37
312	2	23	317
313	2	59	34
314	2	59	21
315	2	177	227
316	1	150	76
317	2	145	50
318	1	165	48
319	0	156	59
320	1	39	160
321	2	76	215
322	2	109	47
323	1	107	68
324	0	49	199
325	2	228	54
326	1	62	331
327	3	79	90
328	1	45	56
329	0	138	78
330	0	75	56
331	0	69	122
332	0	96	52
333	2	56	166
334	1	178	56
335	1	83	84
336	1	25	51
337	2	110	190
338	1	97	46
339	2	90	36
340	1	60	80
341	0	52	38
342	0	90	47
343	1	99	54
344	0	66	59
345	2	93	72
346	2	29	198
347	2	49	104
348	2	46	49
349	1	70	161
350	0	85	68
351	1	73	129
352	2	78	219
353	2	28	107
354	2	141	131
355	1	76	234
356	0	69	142
357	1	67	118
358	2	32	163
359	1	110	188
360	2	31	75



361	2	168	192
362	1	134	144
363	1	136	103
364	1	137	176
365	1	145	149
366	2	219	183
367	1	49	177
368	2	49	268
369	1	44	205
370	2	81	212
371	1	48	46
372	0	205	182
373	0	115	121
374	2	34	103
375	2	157	36
376	3	211	294
377	1	147	261
378	0	77	86
379	1	259	180
380	3	350	187
381	1	352	106
382	2	266	271
383	2	215	297
384	2	81	277
385	1	70	229
386	3	151	58
387	1	85	15
388	2	87	122
389	2	98	17
390	0	149	203
391	3	104	33
392	1	52	69
393	1	82	147
394	2	177	107
395	2	136	107
396	1	25	51
397	0	170	153
398	1	131	40
399	1	85	89
400	2	138	100
401	2	78	174
402	2	87	81
403	1	46	217
404	2	58	177
405	2	34	62
406	1	65	103
407	2	98	153
408	2	82	84
409	2	207	47
410	1	118	178
411	0	494	76
412	1	397	79
413	3	241	134
414	7	463	195
415	0	102	79
416	2	117	116
417	0	134	212
418	2	146	98
419	1	39	128
420	2	78	44

421	1	119	191
422	2	137	103
423	2	104	57
424	0	94	238
425	2	75	107
426	0	122	75
427	0	95	146
428	3	119	104
429	2	94	355
430	1	94	38
431	0	61	85
432	1	30	38
433	2	106	333
434	1	22	137
435	3	608	114
436	1	171	66
437	1	192	89
438	1	226	32
439	2	155	46
440	4	307	110
441	2	217	91
442	3	246	230
443	2	414	205
444	1	354	119
445	0	69	230
446	1	245	173
447	2	188	49
448	1	230	21
449	1	231	137
450	0	260	73
451	1	171	57
452	2	211	177
453	0	352	252
454	1	254	54
455	2	253	117
456	1	156	155
457	1	175	19
458	0	174	57
459	1	87	159
460	0	113	50
461	0	169	159
462	0	166	99
463	0	84	7
464	1	65	148
465	1	187	90
466	0	130	184
467	2	115	21
468	0	69	50
469	1	337	36
470	0	161	202



471	2	199	61
472	2	250	42
473	1	349	85
474	1	230	17
475	1	87	306
476	0	91	37
477	3	207	165
478	1	219	98
479	1	104	63
480	1	127	199
481	1	111	82
482	2	55	287
483	1	89	170
484	1	219	38
485	1	179	172
486	2	580	290
487	1	197	247
488	0	193	173
489	1	107	198
490	0	31	95
491	2	138	292
492	0	181	276
493	1	75	169
494	0	230	275
495	2	91	111
496	2	138	80
497	2	161	55
498	0	100	258
499	2	136	231
500	2	255	73
501	2	101	61
502	0	161	188
503	0	114	77
504	4	345	258
505	1	203	312
506	0	97	122
507	1	75	195
508	0	95	17
509	1	101	185
510	2	353	139
511	2	48	88
512	1	52	130
513	0	146	156
514	2	166	186
515	3	590	170
516	0	168	124
517	2	99	2
518	1	167	47
519	1	123	162
520	1	147	268

521	1	168	280
522	1	299	192
523	1	267	341
524	1	199	64
525	2	217	63
526	0	151	328
527	0	156	41
528	0	255	71
529	0	222	110
530	2	120	335
531	0	98	171
532	1	437	346
533	0	116	33
534	1	168	167
535	0	158	330
536	1	325	325
537	1	150	148
538	0	127	284
539	0	162	31
540	0	211	75
541	1	119	159
542	1	143	91
543	0	123	349
544	2	397	307
545	2	159	180
546	1	127	181
547	1	259	355
548	1	148	80
549	1	93	105
550	1	99	38
551	1	104	309
552	0	195	13
553	0	109	38
554	0	162	32
555	2	162	82
556	0	54	79
557	0	99	49
558	0	109	315
559	1	94	137
560	4	299	317
561	4	307	99
562	1	136	177
563	0	99	358
564	0	222	43
565	0	184	358
566	1	267	357
567	2	242	37
568	1	129	62
569	2	176	99
570	0	424	82
571	0	139	88
572	1	172	188
573	1	167	134
574	0	231	130
575	1	207	82
576	0	175	182
577	0	105	79
578	0	90	95
579	2	177	90
580	0	115	142



581	1	137	158
582	2	226	164
583	0	115	103
584	1	71	123
585	2	111	64
586	1	203	156
587	1	251	192
588	1	205	153
589	2	287	69
590	1	125	337
591	2	145	152
592	1	144	53
593	3	514	178
594	1	324	60
595	2	152	60
596	0	89	82
597	2	292	158
598	1	154	82
599	1	248	346
600	0	140	53
601	0	177	81
602	1	120	84
603	1	105	74
604	2	135	166
605	0	156	100
606	0	167	90
607	1	163	4
608	2	237	92
609	1	262	352
610	0	93	94
611	1	112	179
612	1	171	338
613	1	331	90
614	0	90	87
615	0	180	94
616	0	203	95
617	1	208	353
618	1	155	95
619	2	173	63
620	3	151	311
621	2	103	139
622	0	146	146
623	2	95	243
624	0	133	103
625	1	190	86
626	0	43	192
627	1	79	88
628	1	141	336
629	1	145	124
630	2	256	104

631	1	159	61
632	0	152	62
633	0	125	141
634	0	116	105
635	0	121	145
636	2	83	138
637	1	154	72
638	2	109	15
639	1	146	171
640	0	262	91
641	1	257	213
642	1	118	19
643	1	99	51
644	1	213	95
645	0	95	303
646	1	177	21
647	2	127	63
648	2	149	283
649	2	106	94
650	2	424	37
651	0	101	20
652	0	164	35
653	1	157	77
654	1	105	316
655	1	83	124
656	1	113	342
657	0	111	155
658	0	196	23
659	0	155	46
660	0	75	9
661	2	66	180
662	1	138	38
663	1	198	161
664	1	270	94
665	0	87	133
666	0	64	216
667	1	166	79
668	4	234	59
669	1	160	173
670	1	106	176
671	2	143	355
672	1	141	174
673	1	275	63
674	1	174	194
675	1	169	117
676	2	143	71
677	1	112	84
678	0	96	82
679	1	120	93
680	0	155	189
681	0	160	109
682	0	180	97
683	0	135	73
684	0	115	71
685	0	116	51
686	1	206	349
687	1	81	355
688	2	187	66
689	1	166	159
690	0	117	76
691	1	96	41

Fig. 34 Tabla de Datos de las fracturas relevadas a escala 1:5000 digitalmente.

701	1	211	53
702	0	109	175
703	0	226	118
704	1	113	24
705	0	107	16
706	0	153	69
707	0	54	137
708	1	308	123
709	2	107	28
710	1	235	25
711	0	133	26
712	2	76	207
713	1	77	44
714	0	86	117
715	2	87	60
716	0	153	75
717	2	112	111
718	1	56	49
719	1	124	83
720	2	135	90
721	2	161	74
722	1	147	212
723	1	84	139
724	1	132	165
725	0	111	82
726	1	127	63
727	2	103	331
728	2	123	73
729	2	133	161
730	1	93	175
731	2	126	89
732	2	83	245
733	1	97	58
734	1	87	102
735	1	76	188
736	2	154	99
737	2	129	58
738	2	155	202
739	2	74	345
740	1	101	169
741	1	103	151
742	1	123	353
743	2	103	48
744	1	121	211
745	2	38	92
746	1	178	163
747	2	73	350
748	1	16	323
749	2	30	3



id	Num_inter	Long	Azimut
1	2	179,99	178
2	2	83,75	149
3	2	130,42	24
4	3	438,45	53
5	3	305,22	11
6	2	250,85	114
7	2	141,13	300
8	2	198,79	8
9	2	101,05	131
10	1	137,55	40
11	1	123,28	293
12	3	191,93	29
13	2	107,46	313
14	3	192,93	16
15	2	101,59	322
16	1	75,98	28
17	2	68,82	260
18	2	492,5	329
19	2	51,85	297
20	2	33,5	230
21	2	44,45	341
22	2	238,9	17
23	2	154,02	88
24	2	109,8	359
25	2	220,72	317
26	2	52,26	313
27	2	91,78	261
28	2	41,14	201
29	1	86,52	286
30	0	112,25	179
31	2	101,05	135
32	0	69,91	181
33	2	33,04	300
34	2	66,31	342
35	2	26,45	357
36	2	53,24	337
37	2	22,86	260
38	2	74,38	331
39	2	16,33	177
40	2	6,57	304
41	2	5,47	264
42	2	10,94	333
43	2	9,66	285
44	2	13	284
45	2	11,35	257
46	2	18,55	313
47	2	18,98	250
48	2	6,43	295
49	2	30,96	218
50	2	57,75	263
51	2	26,07	291
52	2	24,58	239
53	1	125,44	62
54	1	15,48	288
55	2	21,9	307
56	2	23,62	315
57	2	31,13	327
58	2	17,88	326
59	1	19,78	250
60	2	14,86	147

61	2	197,12	95
62	0	168,46	69
63	1	158,55	319
64	2	175,33	83
65	1	28,56	202
66	2	28,35	81
67	2	106,32	78
68	3	41,97	358
69	2	52,88	338
70	2	93,83	18
71	2	75,44	322
72	2	78,9	22
73	2	179,9	260
74	2	108,92	358
75	2	131,4	273
76	2	188,02	259
77	2	321,69	303
78	2	91,86	228
79	2	70,51	257
80	2	56,77	166
81	2	119,5	220
82	2	70,84	278
83	3	201,37	213
84	2	100,82	218
85	2	63,69	21
86	2	147,66	305
87	3	246,68	352
88	3	71,26	254
89	2	91,72	134
90	3	199,46	110
91	2	34,8	43
92	2	47,45	316
93	1	73,64	111
94	2	84,89	59
95	1	113,34	305
96	1	104,93	293
97	2	111,73	301
98	2	97,91	42
99	1	92,79	314
100	1	132,6	49
101	1	45,03	282
102	2	73,8	157
102	3	278,57	135
103	1	146,05	44
104	1	70,87	338
105	2	39,34	70
106	1	48,21	67
107	1	63,42	38
108	1	84,13	165
109	2	51,12	186
110	1	57,44	104
111	2	76,51	28
112	1	45,45	33
113	2	19,74	88
114	1	26,21	35
115	2	16,09	132
116	0	153,54	41
117	2	24,87	100
118	1	44,27	88
119	0	17,99	111
120	2	110,21	208



301	1	234,3	155
302	0	248,75	181
303	1	206,97	356
304	0	88,07	57
305	2	61,93	340
306	1	127,1	358
307	0	202,53	70
308	1	147,12	128
309	1	100,56	46
310	0	191,74	39
311	2	350,75	56
312	2	206,63	193
313	1	102,74	192
314	1	262,71	73
315	1	499,65	80
316	1	183,16	64
317	0	276,07	78
318	2	200,8	162
319	3	171,71	146
320	1	111,62	239
321	0	164,63	135
322	3	264,57	90
323	0	199,26	281
324	1	243,75	207
325	0	276,22	340
326	0	374,01	25
327	0	221,1	249
328	2	106,49	243
329	0	224,62	165
330	1	184,82	193
331	2	117,49	172
332	2	196,07	357
333	2	99,42	65
334	2	246,44	345
335	2	174,7	145
336	3	123,08	205
337	2	172,28	259
338	2	177,48	260
339	2	487,53	3
340	0	229,74	61
341	2	232,1	114
342	0	202,53	70
343	2	84,83	184
344	1	209,33	164
345	0	166,15	217
346	0	194,13	163
347	3	140,6	160
348	2	333,74	273
349	2	204,46	170
350	2	217,01	45
351	2	288,86	62
352	2	213,3	7
353	0	180,22	140
354	3	227,53	180
355	2	271,05	309
356	2	245,47	83
357	1	189,46	306
358	3	149,01	253
359	2	184,59	153
360	1	229,74	75

121	2	27,08	121
122	2	157,86	166
123	1	85,82	91
124	1	72,65	33
125	1	57,44	31
126	2	55,82	85
127	1	82,27	72
128	2	130,4	40
129	1	103,25	28
130	0	103,24	153
131	1	69,44	59
132	0	9,6	94
133	0	8,23	151
134	1	52,33	106
135	1	53,05	108
136	0	27,72	70
137	0	51,59	67
138	2	95,21	217
139	2	300,93	307
140	2	334,35	341
141	1	77,74	23
142	1	98,84	111
143	2	286,7	145
144	1	66,72	75
145	1	66,86	10
146	1	81	16
147	1	124,44	178
148	1	155,21	209
149	1	89,48	352
150	1	16,1	22
151	1	29,54	58
152	1	50,96	144
153	1	62,68	97
154	1	68,34	81
155	1	137,49	109
156	1	57,19	97
157	0	27,44	70
158	0	29,33	20
160	1	66,05	16
161	2	27,69	308
162	1	106,94	126
163	1	85,64	17
164	2	205,48	125
165	2	170,97	68
166	2	170,07	85
167	2	146,35	139
168	2	151,62	61
169	2	119,38	103
170	2	238,76	167
171	2	134,91	48
172	2	191,22	104
173	2	209,33	74
174	2	142,48	68
175	2	120,9	67
176	1	80,6	23
177	1	187,9	58
178	0	127,98	60
179	2	146,35	103
180	1	209,33	344



241	3	222,3	91
242	1	134,9	132
243	1	74,08	90
244	1	102,74	55
245	1	268,82	54
246	1	275,87	116
247	1	289,17	79
248	1	112,12	19
249	0	116,53	3
250	1	349,75	10
251	1	168,16	283
252	1	183,68	319
253	1	109,08	309
254	1	255,42	13
255	1	159,09	176
256	1	362,3	187
257	3	352,27	213
258	1	601,87	187
259	1	224,56	304
260	1	415,34	112
261	2	215,85	169
262	2	159,18	69
263	1	241,33	128
264	0	204,25	73
265	2	238,11	90
266	3	149,01	96
267	2	200,03	127
268	1	283,62	53
269	2	317,48	180
270	1	257,49	99
271	1	206,05	211
272	3	335,14	45
273	1	265,42	113
274	2	334,16	101
275	0	224,56	124
276	1	254,48	94
277	1	168,41	46
278	1	176,85	141
279	4	270,63	43
280	1	151,52	78
282	1	169,41	76
283	0	125,84	98
283	1	159,45	85
284	2	192,61	323
285	5	414,12	190
286	0	281,64	244
287	1	265,05	26
288	1	169,66	94
289	1	319,07	174
290	2	286,5	14
291	3	216,36	32
292	1	101,09	47
293	4	622,37	117
294	0	134,7	225
295	1	180,22	130
296	1	121,54	67
297	1	169,16	101
298	1	156,97	290
299	1	215,91	107
300	1	99,42	115

181	4	626,74	41
182	2	134,7	45
183	1	90,11	50
184	2	127,43	5
185	1	357,82	322
186	2	175,18	25
187	1	387,14	22
188	1	92,41	24
189	1	158,74	53
190	2	26,51	15
191	2	41,86	311
192	2	46,78	311
193	2	32,15	333
194	2	208,19	339
195	1	31,31	299
196	1	367,36	78
197	2	348,51	150
198	1	226,48	37
199	1	270,07	55
200	1	223,24	95
201	2	294,52	72
202	4	393,74	139
203	1	326,87	151
204	2	194,71	317
205	1	177,87	293
206	0	273,16	81
207	0	267,78	60
208	0	214,09	130
209	3	538,5	23
210	1	399,1	84
211	0	278,09	339
212	0	203,56	152
213	0	352,98	77
214	1	221,54	310
215	2	84,83	176
216	1	229,73	241
217	1	189,09	162
218	1	246,66	125
219	0	213,56	228
220	0	255,41	50
221	0	273,36	43
222	0	175,89	44
223	1	159,97	56
224	1	175,18	65
225	1	306,76	15
226	1	184,82	13
227	1	176,21	311
228	1	221,04	228
229	2	300,92	272
230	1	204,25	73
231	1	302,67	54
232	0	214,09	220
233	1	214,09	140
234	1	109,08	51
235	2	84,66	90
236	1	220,53	60
237	0	188,87	79
238	2	148,25	268
239	1	195,78	19
240	2	198,34	224

361	1	187,9	58
362	2	133,55	326
363	2	173,33	31
364	1	73,51	60
365	2	253,6	157
366	0	129,18	145
367	1	92,56	59
368	0	123,08	65
369	1	118,91	58
370	2	173,33	348
371	1	136,88	66
372	0	461,84	185
373	0	513,92	107
374	0	343,94	59
375	2	796,38	51
376	0	246,66	55
377	0	318,23	137
378	2	421,25	57
379	2	439,06	193
380	2	237,64	12
381	1	428,86	81
382	1	240,98	99
383	1	259,33	269
384	2	514,87	2
385	2	259,33	1
386	3	311,25	72
387	0	145,3	170
388	1	229,55	64
389	0	340,38	168
390	1	471,97	20
391	0	211,66	143
392	2	330,03	102
393	2	157,33	110
394	4	622,29	115
395	2	189,05	158
396	2	218,94	352
397	2	161,46	145
400	3	195,7	63
401	7	415,3	112
402	0	36,44	23
403	2	284,13	134

Fig. 35 Tabla de datos de fracturas a escala 1:20.000 digital

Especificaciones del Dron

El modelo del Dron utilizado para la realización del vuelo en el área de estudio es BRAMOR GEO del 2015.

La ficha técnica del avión no tripulado de ala fija del fabricante C – Astral:

Datos Técnicos

Fuselaje Envergadura	230 cm.
Longitud del vehículo	96 cm.
Longitud del módulo central	67 cm
Motor	Brushless
Energía de a bordo	Ion-Litio
Peso de despegue	3,8 Kg.
Vuelo Velocidad de crucero óptima	16m/s
Velocidad horizontal máxima	23m/s
Resistencia	Hasta 100 min.
RF Comando y control	868 MHz or 900 MHz or 2.4GHz
Alcance del comando y control	Hasta 40 Km.
Despegue	Autónomo con catapulta
Navegación	Autónoma / serie de waypoints
Aterrizaje	Autónomo con paracaídas
Acciones de fallo críticas	Selecciones Pre-programadas

Especificaciones de la cámara

La cámara colocada en el Dron para el vuelo fue una Sony A6000. Sus especificaciones técnicas a destacar se encuentran a continuación:

Cámara SONY A6000:

Marca	- Sony
Modelo	- Alpha 6000
Tipo	- Sin espejo con objetivos intercambiables
Categoría	- Sin espejo con objetivos intercambiables
Material de fabricación	- Plástico
Peso	- 344 g
Salida al mercado	- febrero de 2014
El Censor utilizado RGB	
Tamaño	- APS-C (23,50 x 15,60 mm)
Resolución	- 24 megapíxeles
Proporciones	- 3:2
Óptica	
Objetivos intercambiables	-Si
Pantalla	
Tamaño	- 3"
Resolución	- 921.600 px
Sensibilidad ISO	
Rango de sensibilidad ISO	- 10 – 25.600
Formato de imagen	
Formato JPG	Si
Formato RAW	Si

Especificaciones del GPS

El GPS utilizado de apoyo en campo al vuelo es un Trimble R4 RTK, cuyos elementos más relevantes de la ficha técnica se exponen a continuación:

Trimble R4

“Este dispositivo presenta 220 canales a partir de los cuales puede ofrecer la precisión y confiabilidad requerida para las mediciones de precisión con rendimiento RTK y rastreo superior” http://www.aguatop.cl/p_gps-trimble-r4

<p>Algunas características físicas del modelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Dimensiones (Ancho x Alto) ● Peso 	<p>19 cm. x 10,2 cm. incluidos los conectores</p> <p>1,52 kg. carcasa, batería interna, radio interna con antena UHF</p> <p>3,04 kg. (los componentes anteriores más el jalón, el controlador y el soporte)</p>
<p>Algunas características eléctricas del modelo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Entrada de alimentación externa ● Batería de ión litio ● Tiempos de funcionamiento con la batería interna 	<p>11 a 28 V CC con protección contra sobre tensión</p> <p>7,4 V y 2,6 Ah recargable y desmontable</p> <p>Opción de sólo recepción de 450 MHz - 5,0 horas</p> <p>Opción de recepción/transmisión de 450 MHz (0,5 W - 2,5 horas)</p> <p>Opción de recepción móvil - 4,7 horas</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Almacenamiento de datos 	<p>Memoria interna de 11 MB</p> <p>Dura 188,6 horas de observables brutos (aprox. 1,4 MB /día)</p> <p>Registro de datos de 14 satélites en intervalos de 15 segundos</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Formatos de datos 	<p>CMR: Entrada y salida CMR+, CMRx</p>

	<p>RTCM: Entrada y salida RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1</p> <p>23 salidas NMEA, salidas GSOFF, RT17 y RT27, soporta BINEX y portadora suavizada</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Medición Cinemática en Tiempo Real4 	<p>Línea base única <30 Km.</p> <p>Horizontal 8 mm + 1 ppm RMS</p> <p>Vertical 15 mm + 1 ppm RMS</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Red RTK 	<p>Horizontal 8 mm + 0,5 ppm RMS</p> <p>Vertical 8 mm + 0,5 ppm RMS</p> <p>Tiempo de inicialización: Típico <8 segundos</p> <p>Confiabilidad de la inicialización: Típica >99,9%</p>

Fig. 36 Especificaciones del dron utilizado para el vuelo fotogramétrico.