

Geología desde los ojos de un dron

Una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros en Ciencias de la Tierra

Proyecto DGAPA/UNAM/PAPIME: PE101020

Guías de aprendizaje autónomo

GAA-03

Extracción de datos de orientación de planos de discontinuidad de afloramientos de roca a partir de nubes de puntos

Mancera-Alejandro Javier
Vega-Ahuacatitla Marlene



UNAM / FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA



Este producto docente ha sido financiado por la DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIME PE101020 “Geología desde los ojos de un dron: una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros de la Tierra”.

Por favor cítanos como:

Mancera-Alejándrez J., Vega-Ahuacatitla M., (2022), Extracción de datos de orientación de planos de discontinuidad de afloramientos de roca a partir de nubes de puntos. Guía de aprendizaje autónomo GAA-03, proyecto PAPIME clave PE101020 (DGAPA-UNAM): “Geología desde los ojos de un dron: una poderosa herramienta educativa para los actuales ingenieros de la Tierra”. Facultad de Ingeniería, UNAM.

1. Introducción

En la actualidad la evolución de las técnicas remotas está fuertemente desarrollada y esto ha contribuido a que los costos de estas tecnologías sean accesibles. En particular la adquisición de datos a través de fotogrametría obtenida con cámaras digitales convencionales o la que se pueden montar en un dron cada vez se extiende más. En las Ciencias de la Tierra, esto es posible si a partir de las fotografías adquiridas se obtienen productos fotogramétricos como las nubes de puntos utilizando algoritmos *Structure from Motion* (SfM), (Westoby et.al., 2012).

2. Objetivos docentes

Objetivo general:

El usuario explorará los datos de una nube de puntos como representación espacial de una pared rocosa y medirá en ella datos de orientación de los planos de discontinuidad observables. Además, obtendrá los datos de orientación de las diferentes familias de discontinuidades de forma semi-automática mediante software de acceso libre.

Finalmente, podrá comparar las mediciones de orientación realizadas con brújula contra las mediciones a partir de una nube de puntos.

Objetivos particulares:

- a) Visualizar un conjunto de datos de la actitud de planos en el espacio (rumbo y echado).
- b) Visualizar y analizar una nube de puntos con software libre.
- c) Obtener datos de orientación y echado de planos de discontinuidad a partir de una nube de puntos con *CloudCompare*.
- d) Realizar la extracción semi-automática de datos de orientación a partir de una nube de puntos aplicando el software *Discontinuity Set Extractor (DSE)*.

3. Materiales y equipo

4.1. Software

A continuación, se enlista el software necesario para realizar esta práctica:

- Para vista y manejo de tablas: Excel o Google Sheets

- Para proyecciones estereográficas: Stereonet, Orient, Open Stereo, Stereostat, Dips, otro.

- Para visualización de nubes de puntos: CloudCompare

- Para extracción de planos de discontinuidad: DSE

4.2. Insumos digitales

- Datos de mediciones de campo con brújula (Tabla 1 de este documento)

- Nube de puntos: “La Escuelita” (Apartado de la actividad 2.1 de este documento) <https://drones.unam.mx/repositorio-fotogrametrico>.

4.3. Requerimientos mínimos de cómputo

- Windows OS: 1.6 GHz o más rápido, dos núcleos

- macOS: Procesador Intel

Memoria

- Windows OS: 4 GB de RAM; 2 GB de RAM (32 bits)

- macOS: 4 GB de RAM

Disco duro

- Windows OS: 4 GB de espacio disponible en disco

- macOS: 10 GB de espacio en disco disponible. Disco duro con formato HFS+ (también conocido como macOS Extended o HFS Plus) o APFS

4.4. Otros

- Brújula

- Falsilla de Wulff

- Falsilla de Schmidt

4. Procedimiento

Para cumplir con los objetivos docentes, se han planteado las siguientes actividades las cuales se describen con detalle. Para algunos casos se han realizado videotutoriales y se recomiendan documentos de apoyo.

Actividad 1. Visualizar un conjunto de datos de actitud de planos de discontinuidad con software libre.

Actividad 2. Visualizar y explorar una nube de puntos utilizando CloudCompare.

Actividad 3. Obtener datos de orientación de planos de discontinuidades a partir de una nube de puntos utilizando CloudCompare

Actividad 4. Realizar la extracción de datos de orientación de una nube de puntos de forma semiautomática utilizando el software Discontinuity Set Extractor (DSE)

Actividad 1. Visualizar un conjunto de datos de actitud de planos de discontinuidad con software libre.

Para esta actividad se ha realizado un levantamiento de datos de orientación de planos de discontinuidad en un macizo rocoso ubicado a un costado del estadio de Ciudad Universitaria de la UNAM, Figura 1.

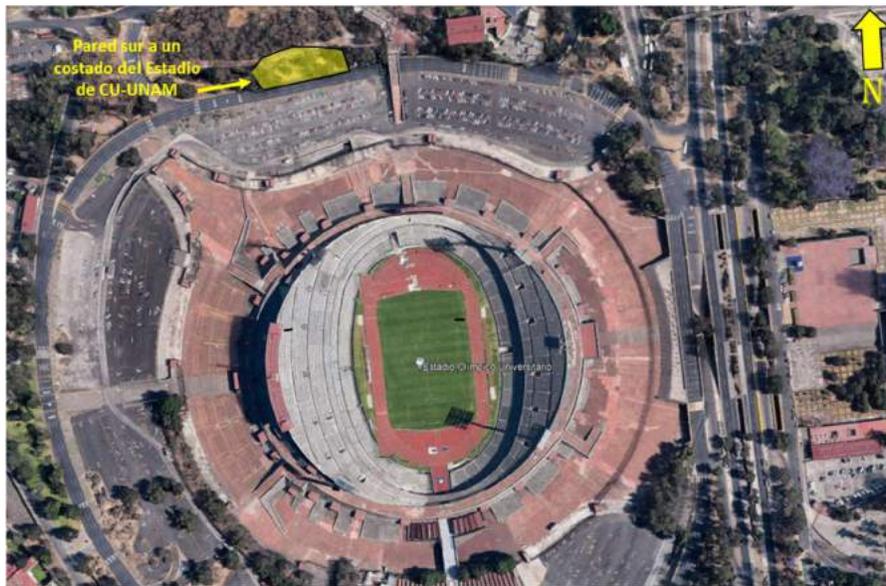


Figura 1. Ubicación de la zona de adquisición de datos. Imagen tomada de Google Earth.

Como sabes, para hacer un levantamiento de datos de orientación con brújula, se realiza una inspección visual del macizo rocoso para identificar las superficies de discontinuidad que sean accesibles, buscando en la medida del posible, tener un buen número de mediciones representativas para poder obtener las orientaciones preferenciales. En la Figura 2, se presenta una vista del afloramiento en donde realizaremos las mediciones con brújula.



Figura 2. Afloramiento de basaltos en la pared sur a un costado del estadio de CU: “La Escuelita”.

En la tabla 1 te presento los 52 datos que hemos obtenido con brújula de un sector de la pared de la Escuelita.

Tabla 1. Mediciones realizadas con brújula

ID	Inclinación	Dirección de la inclinación	ID	Inclinación	Dirección de la inclinación	ID	Inclinación	Dirección de la inclinación
1	26	117	19	57	306	37	75	275
2	24	113	20	72	314	38	76	262
3	30	106	21	71	313	39	73	333
4	24	108	22	65	321	40	82	341
5	29	96	23	68	300	41	79	348
6	21	101	24	58	216	42	76	1
7	43	104	25	60	222	43	77	11
8	33	117	26	77	216	44	78	2
9	75	321	27	65	247	45	77	244
10	89	136	28	60	253	46	50	99
11	322	88	29	62	251	47	46	99
12	80	318	30	62	251	48	38	109
13	74	316	31	62	251	49	54	95

14	70	307	32	64	240	50	83	299
15	74	231	33	64	242	51	88	126
16	69	227	34	60	248	52	88	125
17	80	232	35	77	268			
18	84	196	36	78	272			

Una vez realizadas las mediciones en campo hay que graficar estos datos para poder definir las direcciones preferenciales de las superficies de discontinuidad. Esto lo podemos hacer a mano en la falsilla de Schmidt o bien podemos recurrir a algún programa para graficar como Stereonet (<http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs/stereonet.html>), Orient (<http://docvsoft.com/>), Open Stereo (<https://openstereo.readthedocs.io/en/latest/>) o algunos otros que son de acceso libre.

Dips de la marca Rocscience es otra opción que puedes utilizar (<https://www.rocscience.com/software/dips>).

Actividad 1.1

Grafica los datos en la red estereográfica utilizando al menos dos programas de los que te recomendamos anteriormente. No olvides tomar en cuenta que la notación con la que estamos utilizando en la tabla de datos (tabla 1) es Inclinación/Dirección de la inclinación (Dip/DipDir). Revisa que notación que tiene precargada el programa que elegiste.

En la figura 3 te presento como se ven los resultados con Stereonet 11 y Dips 8. En Stereonet debes hacer varios pasos para poder obtener el diagrama de contornos mientras que en Dips hay un botón para hacerlo directamente.

Analiza, reflexiona y responde:

P1.5 ¿Qué criterios utilizaste para elegir las familias?

P1.6 Analiza la foto de la Figura 4 (es dónde se extrajeron las mediciones).

¿corresponde el número de “planos representativos observables” con lo obtenido de las mediciones?

P1.7 ¿Consideras que el número de mediciones es adecuado? Tu harías más o menos mediciones, ¿por qué?

P1.8 Si te es posible vista el lugar y realiza tus propias mediciones.



Figura 4. Área de mediciones dentro del afloramiento

Actividad 2. Visualizar y explorar una nube de puntos utilizando CloudCompare.

Hicimos un levantamiento fotogramétrico con dron del lugar donde tomamos las mediciones con brújula. Luego procesamos las fotografías y obtuvimos la nube de puntos de la pared de roca Figura 5. Una nube de puntos es un conjunto de datos que indican la posición y el código RGB de cada elemento.



Figura 5. Nube de puntos de La Escuelita

Si tienes dudas o quieres saber más sobre nubes de puntos y fotogrametría digital, aquí te dejo dos videotutoriales que realizamos para tu ayuda (<https://drones.unam.mx/videotutoriales>):

- a) ¿Qué son las nubes de puntos? <https://www.youtube.com/watch?v=gIyuA-VSL0w&t=49s>
- b) ¿Qué son los algoritmos Structure From Motion? <https://www.youtube.com/watch?v=-bSYLTGRL0Y&t=34s>

Actividad 2.1

Descarga e instala el software de acceso libre CloudCompare en: <https://www.danielgm.net/cc/>. Si tienes dudas de cómo hacerlo te recomiendo los primeros minutos del videotutorial: Visualización de una nube de puntos con Cloudcompare (<https://www.youtube.com/watch?v=b7dexrfhPD4&t=581s>).

También descarga la nube de puntos de “La Escuelita” en nuestra página: <https://drones.unam.mx/> en la sección “Recursos” y luego en “Repositorio fotogramétrico” (<https://drones.unam.mx/repositorio-fotogrametrico>). La nube de puntos está en código ASCII, en un archivo de texto separado por comas.

Analiza, reflexiona y responde:

P2.1 ¿Consideras que es posible extraer datos de orientación a partir de una nube de puntos?

Actividad 2.2

Ahora que tienes instalado CloudCompare y has descargado de nuestro sitio web la nube de puntos, realiza las siguientes actividades (si tienes dudas ve a nuestro videotutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=b7dexrfhPD4&t=581s>):

- Abre la nube de puntos para visualizarla con CloudCompare
- Explora los elementos de la interfaz de CloudCompare, manipula la vista 3D y identificar el área de mediciones con brújula de la foto de la Figura 4.
- Realiza un submuestreo con la herramienta (subsample a point cloud, Figura 5) con el método de espaciamiento entre elementos (space), probando con los valores de 1, 0.05, 0.1, 0.05, 0.01 y 0.005 para el espaciamiento mínimo entre puntos (min. space between points).
- Realiza un recorte con la herramienta “segment” (Figura 5) de la zona equivalente a donde se hicieron las mediciones con brújula (Figura 4).

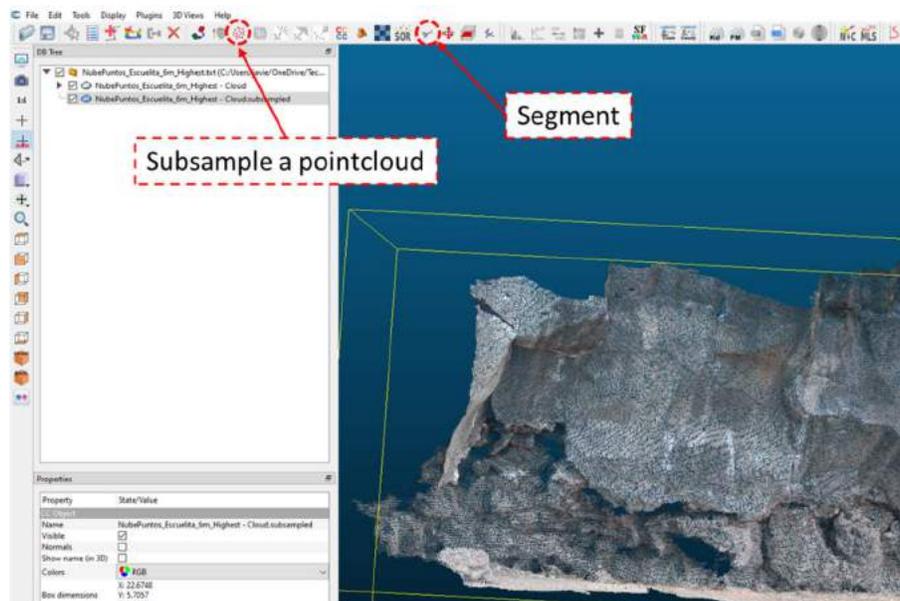


Figura 5. Ubicación de las herramientas de submuestreo y recorte.

Analiza, reflexiona y responde:

P2.2 ¿cuántos elementos tiene la nube de puntos que estamos trabajando, (dimensiones, largo, alto)?,

P2.3 ¿qué otros datos se muestran en el cuadro de propiedades de CloudCompare? ¿Cómo se expresa el código RGB numéricamente?,

P2.4 ¿cómo varía el número de elementos de la nube de puntos cuando se hace el submuestreo? Realiza una tabla de “espaciamiento mínimo entre puntos” vs “número de puntos”, “tamaño del “archivo” y analiza para definir cuál es el submuestreo adecuado para que se sigan observando los rasgos del afloramiento y que sea de fácil manipulación.

Actividad 3. Obtener datos de orientación de planos de discontinuidades a partir de una nube de puntos utilizando CloudCompare.

Una de las funciones de CloudCompare más útiles para estudiosos de las Ciencias de la Tierra, es “Compass” que es una brújula “virtual” que permite obtener entre otras cosas, mediciones de rumbo y echado de superficies de discontinuidad en los macizos rocosos.

Antes de usar la herramienta “compass”, analiza, reflexiona y responde:

P.3.1 ¿cómo obtendrías mediciones de orientación de planos a partir de puntos en el espacio?

“Compass” se encuentra en el menú de plugins o bien en la barra de plugins que se encuentra en el costado derecho. Una vez que la seleccionas podrás elegir entre el modo brújula o mapa, Figura 6. Elige modo brújula. El modo mapa tiene mejores aplicaciones cuando se trabajan nubes de puntos de modelos digitales del terreno.

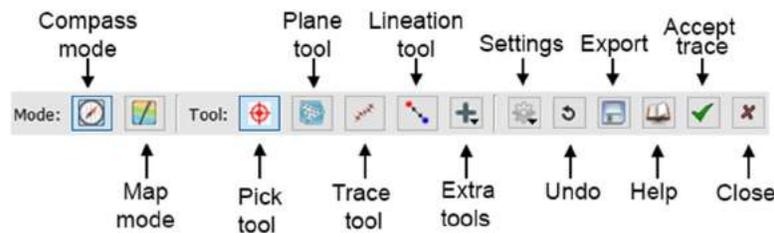


Figura 6. Herramienta “compass” en CloudCompare.

Para esta actividad trabajaremos la nube de puntos original. Toma en cuenta que cada que generes un submuestreo, un recorte, etc., en automático CloudCompare generará un archivo de lo que hiciste y este lo puedes ver en el “DB Tree”, es recomendable que

vayas guardando cada uno como una nube de puntos independiente o bien guardar el proyecto como un archivo .bin, es decir un archivo que solo podrás abrir con CloudCompare.

Actividad 3.1

Abre la nube de puntos de La Escuelita con Cloudcompare. De la misma manera que hacemos en campo, realiza una inspección general moviendo la nube de puntos para que puedas identificar los diferentes planos de discontinuidad.

Enseguida activa la herramienta “compass”. Elige el modo brújula (Compass mode) y luego elige “Plane tool”. Ahora verás en tu cursor un círculo rojo que puedes ampliar o cerrar manteniendo la tecla “Control” y moviendo el *scroll* del *mouse* hacia adelante o hacia atrás (Figura 7). Ajusta el tamaño del círculo y comienza a realizar las mediciones. Realiza al menos 100 mediciones buscando que al menos midas cada plano una vez. Para aclarar dudas te recomiendo ver el siguiente videotutorial: Medición de rumbos y echados en una nube de puntos con CloudCompare (<https://www.youtube.com/watch?v=h1QbHbmFO2A>).

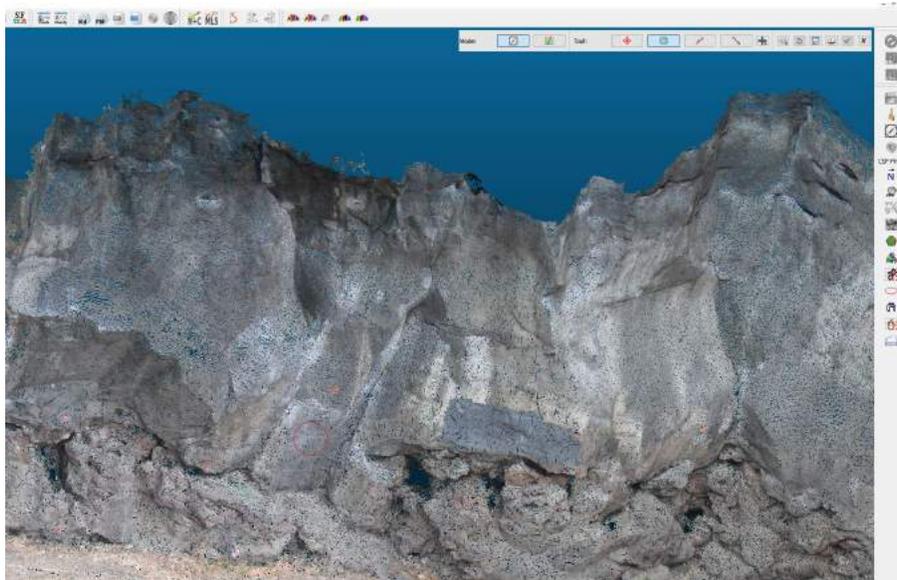


Figura 7. Uso de la herramienta “compass” en CloudCompare.

Analiza, reflexiona y responde:

P3.2 Durante la inspección general de la nube de puntos, ¿cuántas familias de discontinuidades detectaste?

P3.3 Cada que haces una medición se dibujará un cuadro con una flecha de color verde, ¿qué representan esta flecha?

P3.4 ¿Qué tan confiables son las mediciones que estás obteniendo? Argumenta tu respuesta.

Actividad 3.2

Guarda tus mediciones con el botón “Export” del menú de compass y gráficalo utilizando Stereonet o Dips. Realiza el diagrama de contorno de polos.

Analiza, reflexiona y responde:

P3.4 ¿Cuántas familias de discontinuidades encontraste? Llena la siguiente tabla (agrega o quita renglones de ser necesario):

Tabla 3. Identificación de las familias a partir de mediciones en CloudCompare

Mediciones con Compass en CC		
No. Familia	Inclinación	Dirección de la inclinación
1		
2		
3		
4		
.		
.		

Actividad 4. Realizar la extracción de datos de orientación de una nube de puntos de forma semiautomática utilizando el software Discontinuity Set Extractor (DSE).

Adrián Riquelme (Riquelme et. al. 2014), desarrollo el programa Discontinuity Set Extractor (DSE) para obtener las familias de orientaciones preferenciales de un macizo rocoso. Los datos de entrada para el programa son nubes de puntos obtenidas con LiDAR o fotogrametría. La forma en que logra esto se divide en 3 partes Figura 8; la primera consiste en encontrar un plano que se ajuste a un grupo de elementos de la nube, esto lo hace con algoritmos de vecinos cercanos (Nearest Neighbour Searching) y posteriormente haciendo una prueba de coplanaridad. En la segunda parte hace estimación de la densidad y asigna cada elemento a una familia (10 precargadas, pero

se puede modificar). Finalmente, en tercera parte, realiza análisis de clústeres y calcula el error de ajuste.

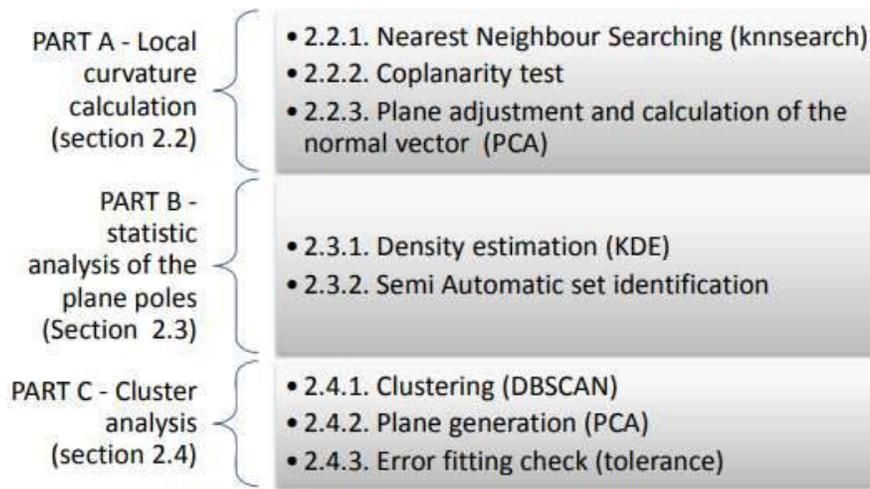


Figura 8. Diagrama de flujo para la metodología DSE, tomado de Riquelme et. al. 2014.

Actividad 4.1

Descarga e instala el software de acceso libre DSE de Riquelme. Actualmente ya está disponible la versión 3.00 (<https://personal.ua.es/en/ariquelme/discontinuity-set-extractor-software.html>). DSE está programado en Matlab y probado en su versión 2020a, por lo que para poder ejecutarlo necesitaras instalar Matlab 2020a. Si eres estudiante o académico de la UNAM puedes descargar Matlab en: <https://www.software.unam.mx/producto/matlab/>, recuerda que para ello debes tener una cuenta con terminación institucional de la UNAM.

Analiza, reflexiona y responde:

P4.1 Investiga: ¿Cuáles son las diferencias entre la versión anterior (DSE 2.10) y la actual (DSE 3.00)?

Actividad 4.2

Aunque los procesos que realiza DSE 3.00 están optimizados y reducen en buena medida los tiempos de proceso, conviene reducir el tamaño de la nube de puntos. Para esto realiza un submuestreo de la nube de puntos en *CloudCompare*. Guarda la nueva nube de puntos que debe ser más ligera y tener menos elementos.

Para hacer el submuestreo puedes utilizar el espaciamiento mínimo entre puntos que determinaste en la pregunta P2.4. Recuerda que la nube debe permitir ver los planos a medir con claridad para que obtengas buenos resultados.

Analiza, reflexiona y responde:

P4.2 Ahora que sabes para que puede servir el submuestreo, ¿consideras que es adecuado el espaciamiento que determinaste en la pregunta P2.4? En caso de que no, determina cual si es adecuado.

Actividad 4.3

Utiliza la nueve de puntos submuestreada para analizarla con DSE, sigue el flujo de trabajo en el programa (Figura 9):

1. Normal vector and poles. Calcula los vectores normales a cada punto con el test de coplanaridad.
2. Density and principal poles extraction. Calcula la función de densidad con el numero de familias que se le indique. Apartir de aquí puedes ver las figuras con las herramientas de ploteo (Plot, barra derecha en DSE)
3. Assing a DS to each point, Asigna cada punto de la nube a las familias.
4. Cluster análisis. Realiza el análisis de clústeres pudiendo manipular el error de ajuste y permite guardar el resultado.

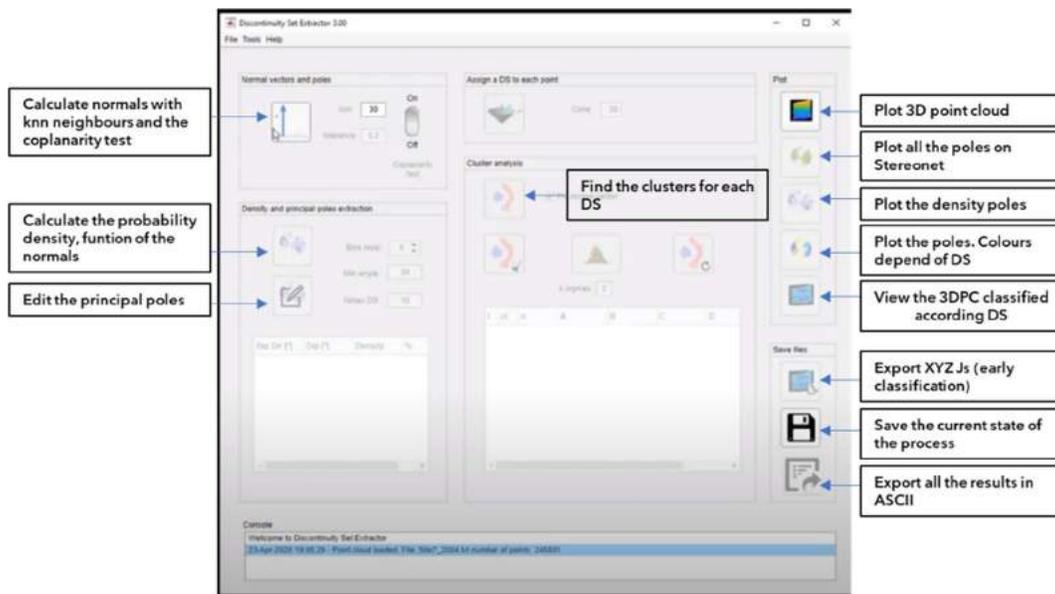


Figura 9. Interfaz de DSE, (Riquelme, 2014; Actualización-DSEv3.00-2020)

Para seguir el procedimiento con detalle te invitamos a ver el video: <https://www.youtube.com/watch?v=rarJ8AKNWgg&t=494s>.

Analiza, reflexiona y responde:

P4.3 ¿Te parece que las 10 familias que detecta de forma predefinida son las que en realidad existen en el macizo rocoso analizado?

P4.4 Las familias que detecta DSE, ¿coinciden con las que mediste con CloudCompare?

Actividad 5. Comparar los resultados de las mediciones con brújula con los de la medición en CloudCompare y los de la extracción semi-automática.

Actividad 4.4

Realiza el ajuste manual de familias de acuerdo con lo que se puede observar en la nube de puntos. Para ello sigue el siguiente procedimiento:

- a) Visualiza e inspecciona el modelo 3D de la clasificación inicial (10 familias) en la vista 3D de la nube de puntos (View 3DPC classified according DS). Revisa que no haya traslape entre las familias o si hay alguna familia que no esté representando en realidad a algún plano.
- b) Con el editor de poles (Edit the principal poles), elimina a aquellas familias que no representen planos o bien que se puedan asociar a alguna otra.
- c) Exporta tus resultados con “Export XYZ JS (early classification)”. El archivo lo genera en la carpeta donde está la nube de puntos que estás trabajando. Abre el archivo que genera DSE con CloudCompare, puedes abrir este archivo sobre la nube de puntos original. Analiza y revisa que efectivamente la clasificación que hiciste es correcta, es decir que los diferentes colores con los que ves a los planos estén representando el comportamiento general. En caso de que detectes que esto no es así, regresa al inciso a) y repite el procedimiento.

Tus resultados se deberán ver como lo que se presenta en la Figura 10.

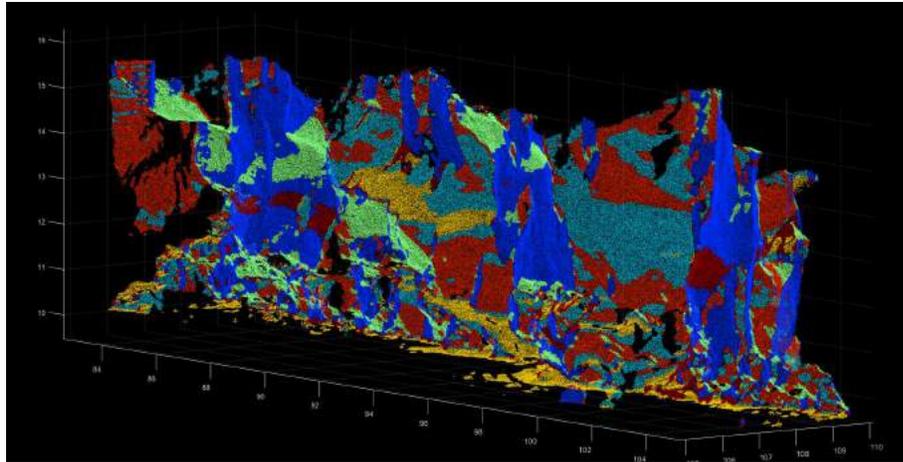


Figura 10. Vista por color de las diferentes familias de discontinuidad en DSE.

Analiza, reflexiona y responde:

P4.5 ¿Por qué crees que Riquelme (2014), le llama extracción “semiautomática” de discontinuidades?

P4.6 ¿Cómo influye la superficie (el piso) en la extracción de familias en el análisis de la nube de puntos de la Escuelita?

P4.7 ¿A cuántas familias llegaste después de hacer la corrección? Explica que argumentos respaldan tu respuesta.

5. Resultados y reporte

El reporte de la realización de esta práctica deberá incluir al menos los siguientes aspectos:

- i. Introducción
- ii. Equipo y materiales
- iii. Métodos (procedimiento)
- iv. Resultados
- v. Discusión de resultados
Para esta sección deberás responder a las preguntas de las secciones “*Analiza, reflexiona y responde*”
- vi. Conclusiones
Para esta sección te puedes apoyar de las preguntas de las secciones “*Analiza, reflexiona y responde*”

Referencias

6. Referencias citadas

M.J. Westoby, J. Brasington, N.F. Glasser, M.J. Hambrey, J.M. Reynolds. 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Riquelme, A. J., Abellán, A., Tomás, R., & Jaboyedoff, M. (2014). A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds. *Computers & Geosciences*, 68, 38-52.