



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE

TEMA: USO DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA A TRAVÉS DE SISTEMAS ESCÁNER LÁSER APLICADA A ESTUDIOS ESPELEOLÓGICOS PARA LA GENERACIÓN DE AMBIENTES VIRTUALES

ELABORADO POR:
ANDREA NATALY ZAMBRANO BALLESTEROS

ING. WILSON JÁCOME
DIRECTOR DE CARRERA

DR. OSWALDO PADILLA
DIRECTOR DE PROYECTO

DR. THEOFILOS TOULKERIDIS
REVISOR

DR. MARCELO MEJÍA MENA
SECRETARIO ACADÉMICO



LatinGeo

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
3. MARCO METODOLÓGICO
4. RESULTADOS
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



1. INTRODUCCIÓN

- ANTECEDENTES
- ÁREA DE ESTUDIO
- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

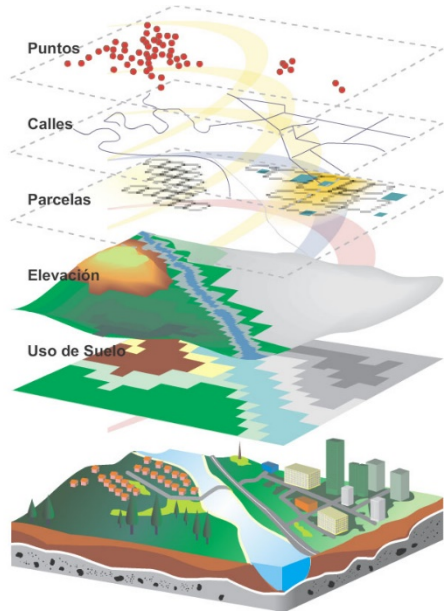
3. MARCO METODOLÓGICO

4. RESULTADOS

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ANTECEDENTES



Captura

Análisis

Interpretación

Almacenamiento

Generación de la información geográfica y cartográfica

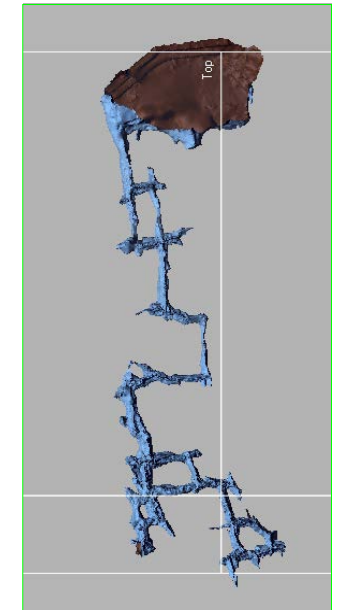
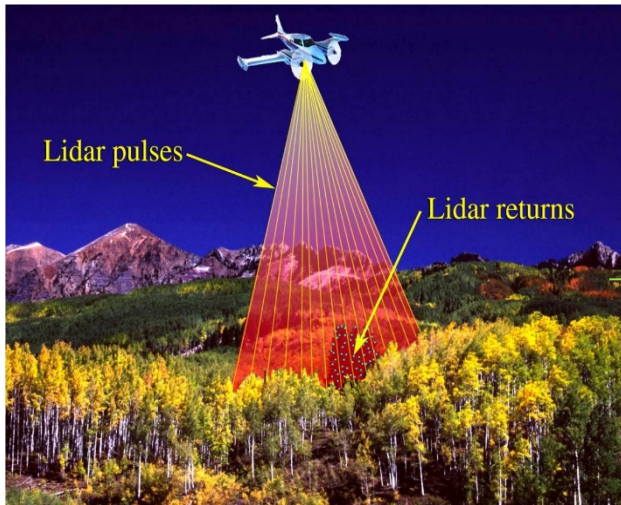


CAD

SIG

Modelos 3D de superficies, de terreno y de edificaciones con gran precisión

LIDAR



ÁREA DE ESTUDIO

El presente proyecto se realizó en la provincia de Napo-Ecuador cerca de su capital Tena

Cueva Elviandi

Cavernas
Jumandi

Cueva El
Castillo

Gruta de la
Virgen Santísima



ÁREA DE ESTUDIO



Cueva Elviandi

[1°02'15.76"S; 77°48'05.52"O]

Cavernas Jumandi

[0°52'29.19"S; 77°47'24.27"O]

Cueva El Castillo

[1° 1.41' S, 77° 48' 1.2" O]

Gruta de la Virgen Santísima

[1° 1' 43.52" S, 77° 48' 3.05" O]



DEFINICIÓN DEL PROBLEMA



Avanzar en la investigación de las potencialidades tanto geológicas, científicas y de belleza escénica de las cuevas, a través de la generación de los ambientes virtuales

General

Utilizar la Tecnología de Información Geográfica (TIG) a través del Sistema Escáner Láser, aplicado a estudios espeleológicos para la generación de ambientes virtuales en las Cuevas Jumandi, Elviandi, Castillo, Gruta de la Santísima Virgen en la Provincia de Napo - Ecuador.

Específicos

- Realizar los escaneos de las cuevas utilizando el equipo Trimble TXD 3D Láser Scanner.
- Procesar de los datos crudos para unir los escaneos y depurar la información.
- Realizar el control de calidad de los escaneos.
- Generar el entorno virtual 3D de las Cuevas Jumandi, Elviandi, Castillo y Gruta de la Santísima Virgen

1. INTRODUCCIÓN

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

- CAVIDADES SUBTERRÁNEAS
- ESCANEEO
- LÁSER
- AMBIENTE VIRTUAL

3. MARCO METODOLÓGICO

4. RESULTADOS

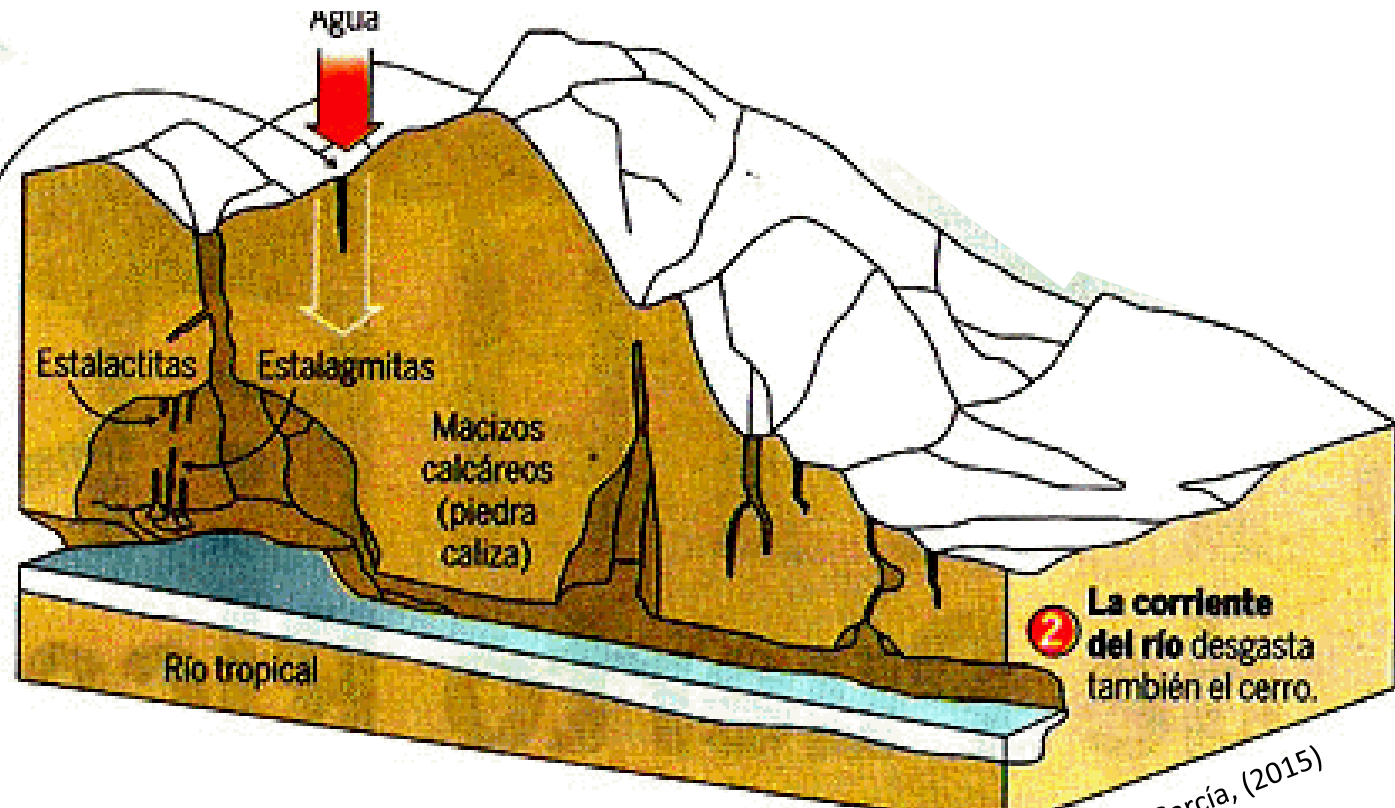
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAVIDADES SUBTERRÁNEAS

CREACIÓN NATURAL

1 El agua de lluvia filtrada por las fracturas se encuentra cargada de bióxido de carbono, y el ácido que adquiere al entrar en contacto con la tierra va disolviendo la roca lentamente.



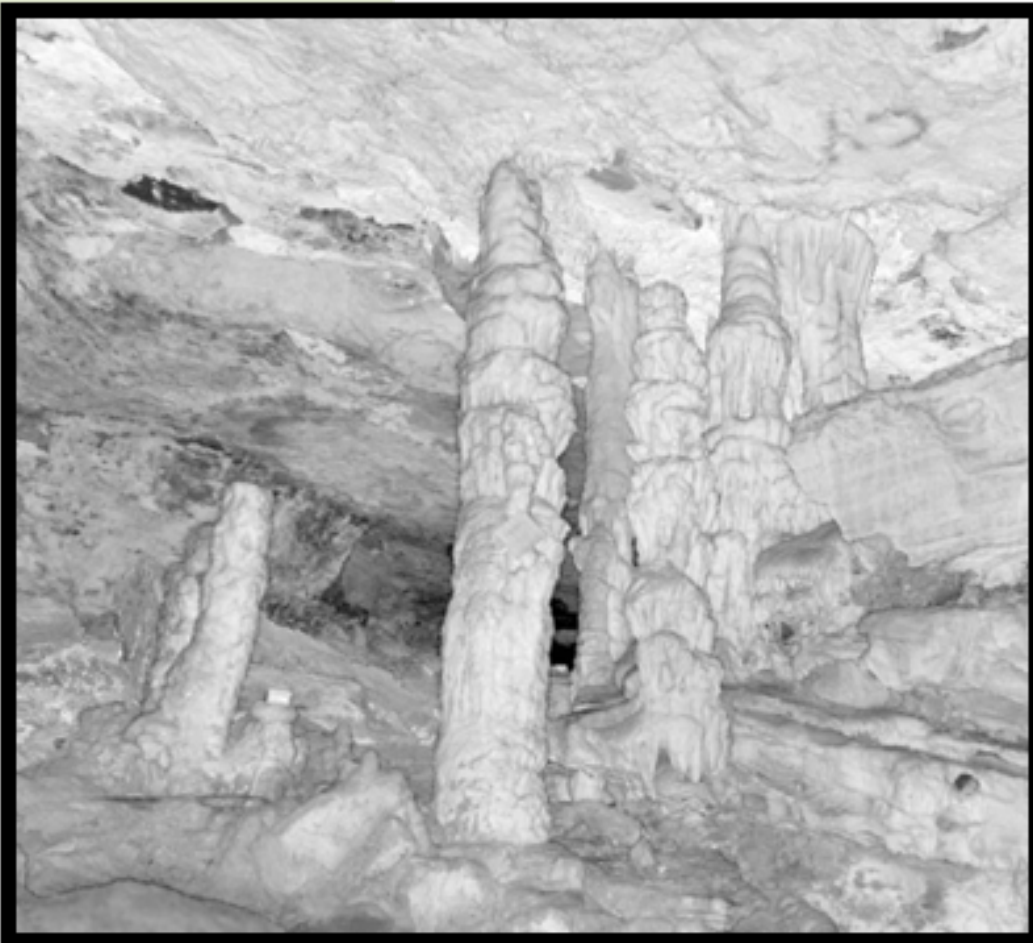
2 La corriente del río desgasta también el cerro.

García, (2015)

- Gruta: cavidad que poseen un salón subterráneo
- Cueva: es una cavidad con varios salones más o menos extensa y no sobrepasa 1 Km de longitud.
- Caverna: es una cavidad con varios salones y galerías con longitudes superiores a 1 Km e inferiores a 10 Km.

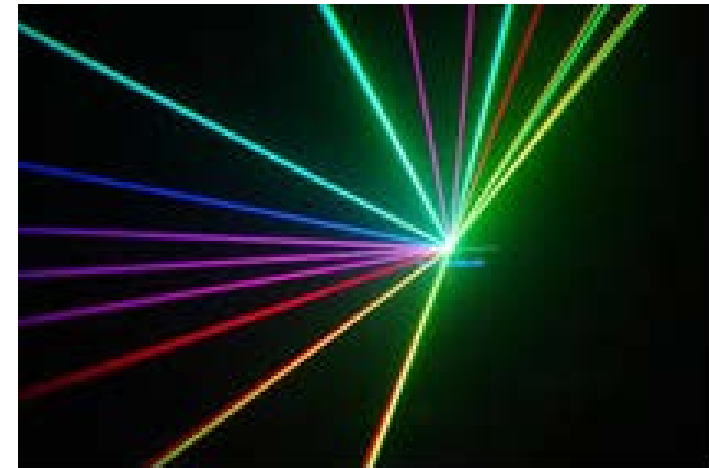
ESCANEEO

Digitaliza la forma, apariencia y profundidad de los objetos en un entorno real usando tecnología láser



LÁSER

Es un instrumento capaz de generar ondas de luz usando una estrecha banda del espectro



La luz láser posee una propiedad llamada coherencia temporal o espacial

AMBIENTE VIRTUAL



Ambientes virtuales inmersivos espacios tridimensionales, reales o imaginarios, generados por computadora, con los que el **usuario puede interactuar**

Ambientes virtuales no inmersivos acceder a espacios tridimensionales con escala real

- ✓ Conocer entornos inaccesibles o con riesgo
- ✓ Relacionar resultados desde otros puntos de vista



1. INTRODUCCIÓN
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
3. MARCO METODOLÓGICO
 - MATERIALES Y MÉTODOS
 - CONTROL DE CALIDAD
 - GENERACIÓN DEL AMBIENTE VIRTUAL
4. RESULTADOS
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



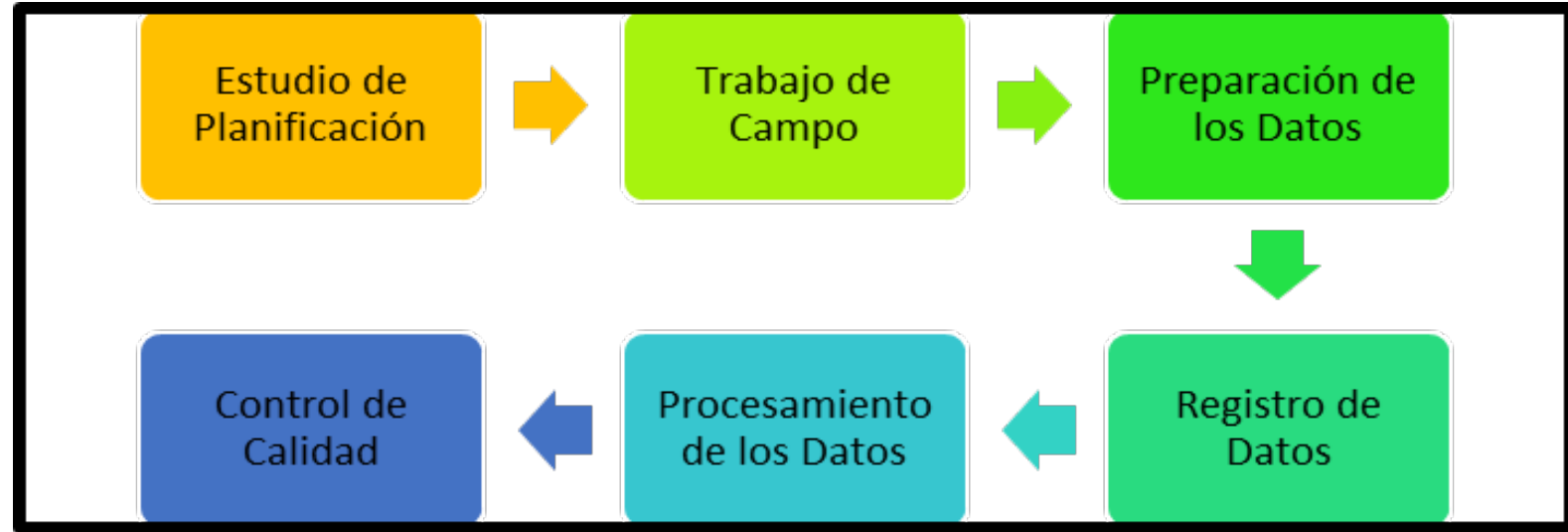
MARCO
METODOLÓGICO

MATERIALES



MÉTODOS

Según Santana, (2008), el procedimiento con un escáner láser terrestre en resumen debe contener:



Requerimiento del proyecto
Documentos a entregar

Análisis del Área a Levantar

| Cuevas en Estudio | Resolución de Captura | Calidad | Tiempo de Toma (MM:SS) | Puntos por Escena |
|---------------------|-----------------------|---------|------------------------|-------------------|
| Cavernas de Jumandi | 1/8 | 6X | 10:23 | 5120x2134 |
| Gruta de la Virgen | 1/4 | 4X | 7:48 | 8192x3414 |
| Cueva Elviandi | 1/5 | 6X | 21:33 | 8192x3414 |
| Cueva El Castillo | 1/4 | 3X | 6:48 | 10240x4267 |

MARCO
METODOLÓGICO

Preparación de
los Datos

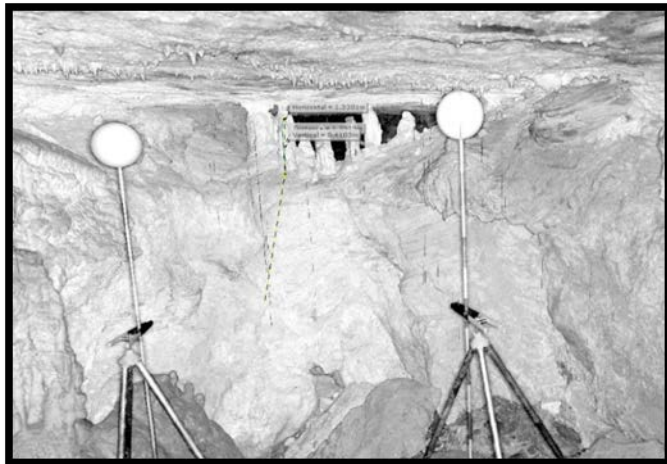


Ajustes del escáner
Colocación de las esferas y toma de puntos de
referencia

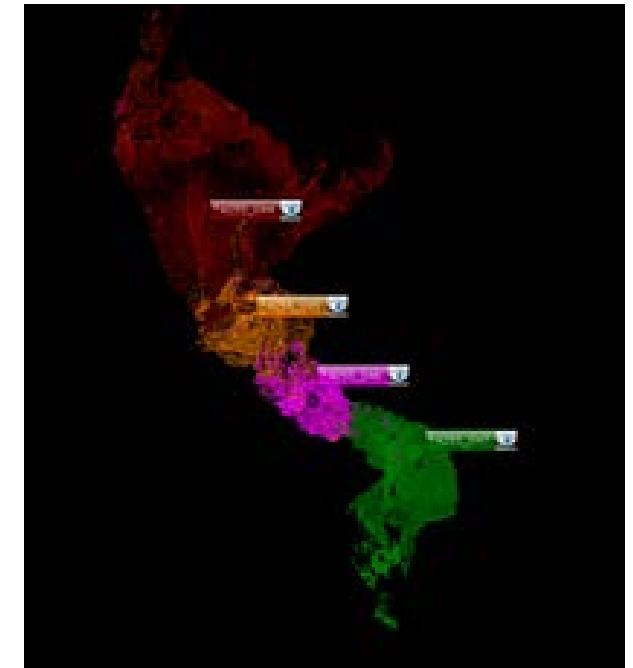
Trabajo de
Campo



De esta fase se desprende la nube de puntos cruda



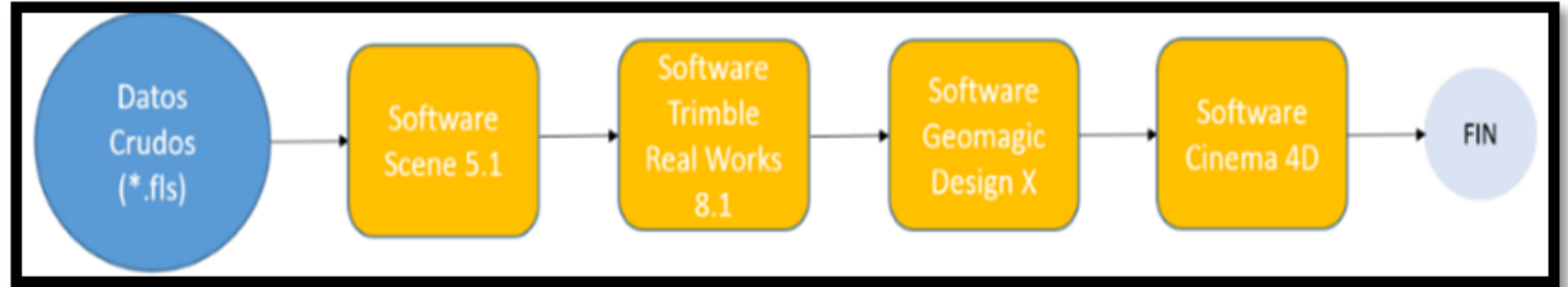
| Nombre | Fecha de modifica... | Tipo |
|---------------------|----------------------|---------------------|
| FARO_LS4255_054.flr | 08/06/2017 9:26 | Carpeta de archivos |
| FARO_LS4255_055.flr | 08/06/2017 9:26 | Carpeta de archivos |
| FARO_LS4255_056.flr | 08/06/2017 9:26 | Carpeta de archivos |
| FARO_LS4255_057.flr | 08/06/2017 9:26 | Carpeta de archivos |
| FARO_LS4255_058.flr | 08/06/2017 9:26 | Carpeta de archivos |



MARCO
METODOLÓGICO

Esta etapa propone el flujo de trabajo en concreto seguido en este proyecto que dio como resultado la generación de ambientes virtuales

Procesamiento
de los Datos



Requerimientos del
Procesador

**SUPERCOMPUTADORA
ESPE**

Workstation

NVIDIA Quadro K4000
Memoria Total Aprox 20000Mb
Multiprocesador



MARCO METODOLÓGICO

Datos Crudos (*.fls)

Software Scene 5.1

Software Trimble Real Works 8.0

Unión de escenas

Depurado

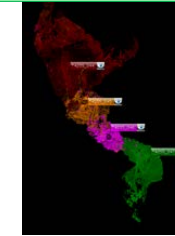
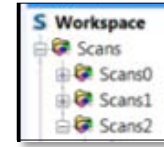
Creación del Mallado

1. Subdivisión en carpetas

2. Unión de las escenas

3. Creación de la Nube de Puntos

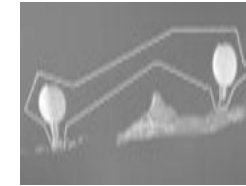
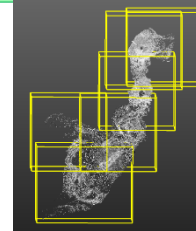
4. Exportado la Nube de Puntos



*.xyz

1. Segmentación de la Nube de Puntos

2. Depurado de la Nube de Puntos

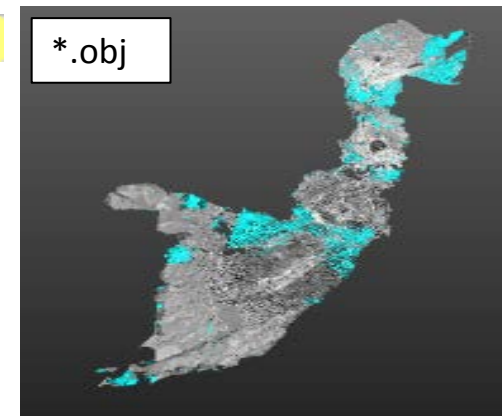


1. Creación del mallado

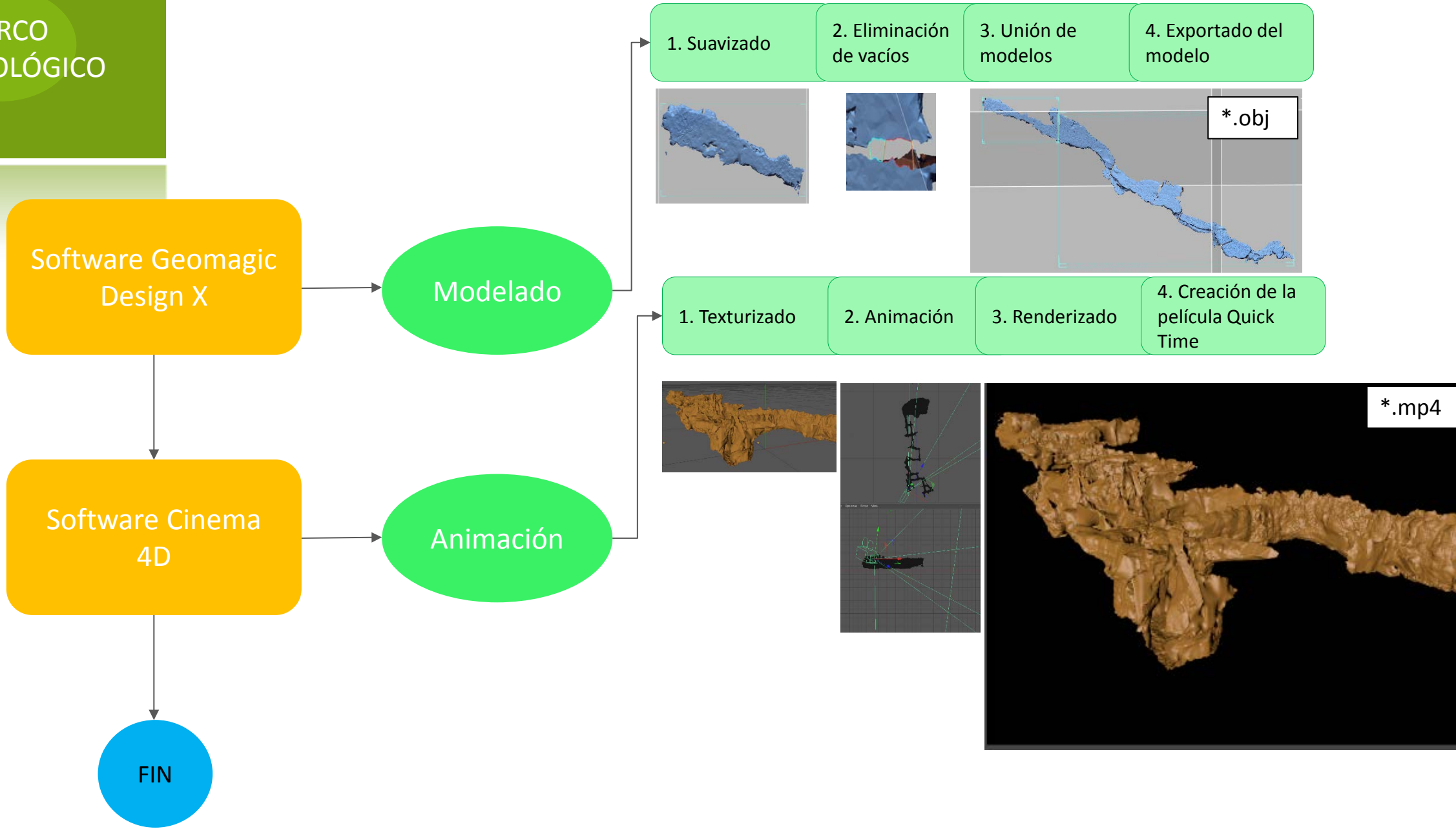
2. Exportación a formato de imagen



*.obj



MARCO
METODOLÓGICO



MARCO METODOLÓGICO

Se realizaron mediciones para comparar datos in situ con respecto a lo obtenido en el escaneo.

Control de Calidad



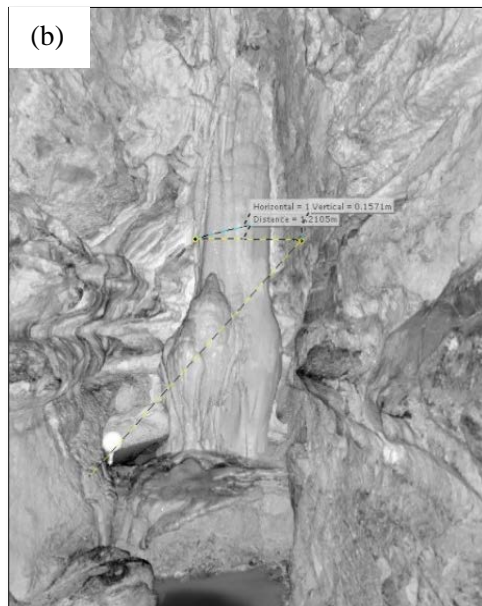
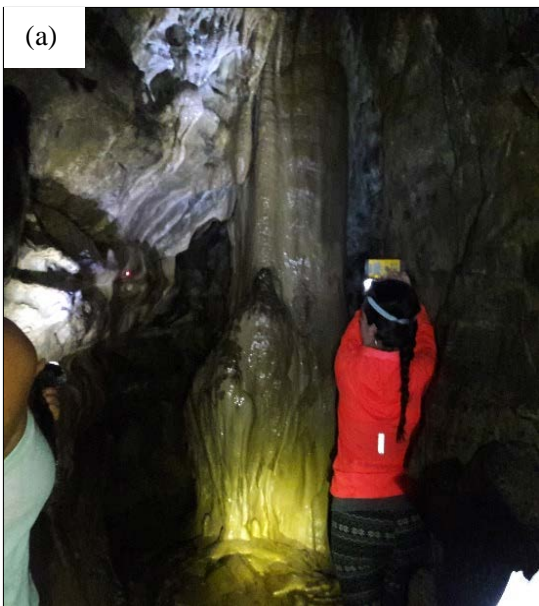
El resultado del experimento se expresa: $\langle x\varepsilon \rangle \pm \sigma\varepsilon$; mismo que permite validar la bondad del modelo generado a través del cálculo de los estadísticos.

n=30

$$\Delta\varepsilon = \bar{X}_p - \bar{X}_c$$

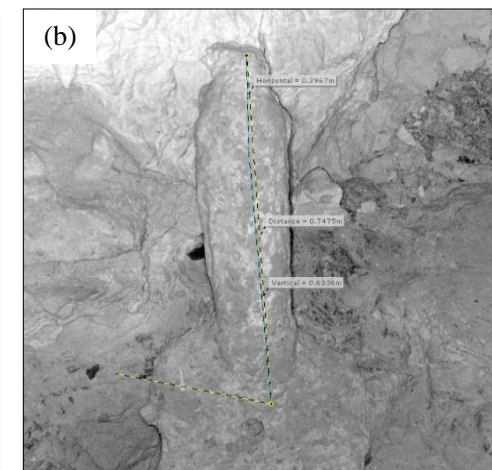
Cavernas Jumandi

El muestreo en esta cavidad subterránea se enfocó en el pasaje turístico, debido a la facilidad de acceso al mismo



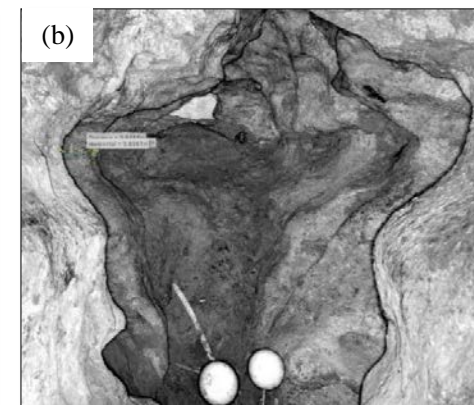
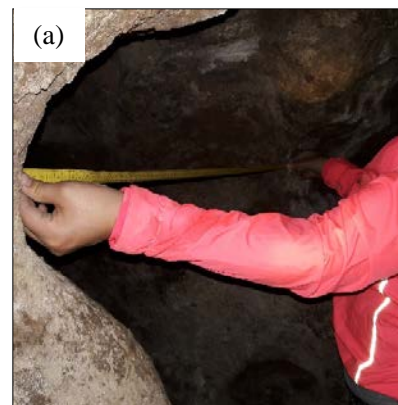
Cueva Castillo

El muestreo en esta cavidad subterránea se realizó a lo largo de misma enfocándose en especial en la galería de estalactitas y estalagmitas, debido a la facilidad de acceso al mismo.



Gruta de la Virgen Santísima

El muestreo en esta cavidad subterránea se realizó a lo largo de los pasajes



MARCO METODOLÓGICO

| N° | CAVERNAS JUMANDI | | | CUEVA EL CASTILLO | | | GRUTA DE LA VIRGEN SANTÍSIMA | | |
|----|------------------|---------|-------|-------------------|---------|--------|------------------------------|---------|--------|
| | Xs | Xc | DIF | Xs | Xc | DIF | Xs | Xc | DIF |
| 1 | 958.00 | 954.17 | 3.83 | 747.50 | 744.75 | 2.75 | 258.20 | 256.00 | 2.20 |
| 2 | 722.60 | 717.27 | 5.33 | 353.50 | 349.20 | 4.30 | 154.60 | 156.60 | -2.00 |
| 3 | 357.20 | 357.53 | -0.33 | 368.60 | 368.20 | 0.40 | 838.90 | 836.42 | 2.48 |
| 4 | 572.50 | 574.08 | -1.58 | 465.50 | 468.00 | -2.50 | 195.70 | 196.60 | -0.90 |
| 5 | 1606.30 | 1604.55 | 1.75 | 637.40 | 633.40 | 4.00 | 285.70 | 286.00 | -0.30 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 25 | 1964.30 | 1964.88 | -0.58 | 495.00 | 516.00 | -21.00 | 1255.40 | 1280.40 | -25.00 |
| 26 | 195.90 | 192.65 | 3.25 | 542.00 | 577.80 | -35.80 | 302.60 | 307.80 | -5.20 |
| 27 | 316.80 | 313.63 | 3.17 | 1280.90 | 1299.20 | -18.30 | 600.10 | 602.20 | -2.10 |
| 28 | 385.20 | 384.37 | 0.83 | 293.10 | 304.00 | -10.90 | 1345.40 | 1350.00 | -4.60 |
| 29 | 435.30 | 436.05 | -0.75 | 580.70 | 571.80 | 8.90 | 498.10 | 499.20 | -1.10 |
| 30 | 566.70 | 557.28 | 9.42 | 408.60 | 413.40 | -4.80 | 582.50 | 579.40 | 3.10 |

Control de Calidad



Se plantea utilizar un intervalo de confianza al 95% para la media del error. A continuación un resumen estadístico del error en los datos obtenidos, donde n=30.

| Cueva | Error Medio | Desviación | Margen de Error | IC | |
|----------|-------------|------------|-----------------|---------------|---------------|
| | | | | Lím. Inferior | Lím. Superior |
| Jumandi | 0.11 | 5.06 | 0.33 | -0.22 | 0.44 |
| Castillo | -0.93 | 11.63 | 0.76 | -1.69 | -0.18 |
| Virgen | -1.52 | 5.44 | 0.36 | -1.88 | -1.17 |



$$\bar{x} \pm Z_{\alpha/2} \times \frac{\sigma}{\sqrt{(n)}}$$

| |
|------------------|
| (0.11 ± 0.33) |
| (-0.93 ± 0.76) |
| (-1.52 ± 0.36) |

1. INTRODUCCIÓN
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
3. MARCO METODOLÓGICO
4. RESULTADOS
 - POR PROGRAMA
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

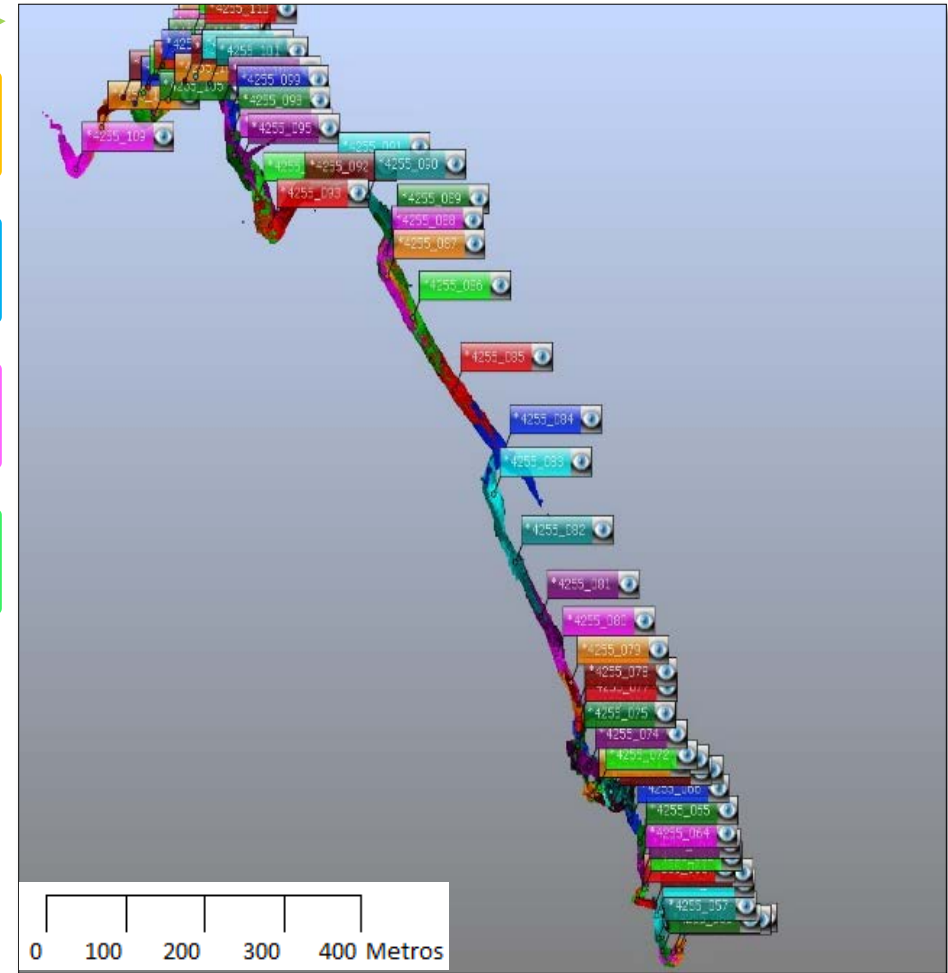


RESULTADOS

Programa Scene 5.1

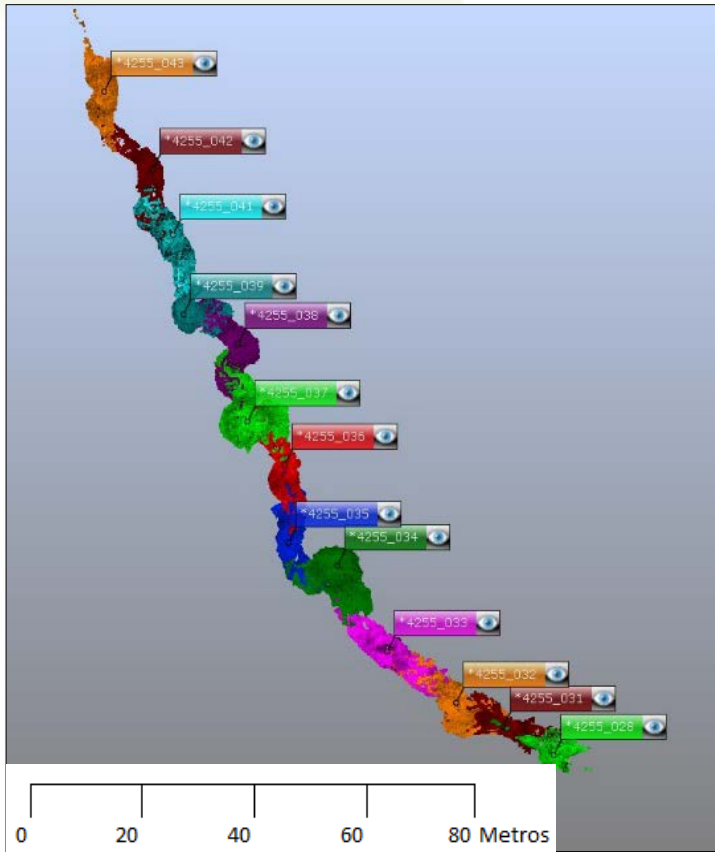
CAVERNAS JUMANDI

| Duración Escaneo | Tamaño | Post proceso |
|------------------|--------------|--------------------|
| 3 días | 7.63Gb | 34.8Gb |
| N° escenas | N° de puntos | Longitud Escaneada |
| 66 | 721'121.280 | 1100m |



CUEVA ELVIANDI

| Duración Escaneo | Tamaño | Post proceso |
|------------------|--------------|--------------------|
| 1 día | 5.12Gb | 19.4Gb |
| N° escenas | N° de puntos | Longitud Escaneada |
| 22 | 615'284.736 | 160m |

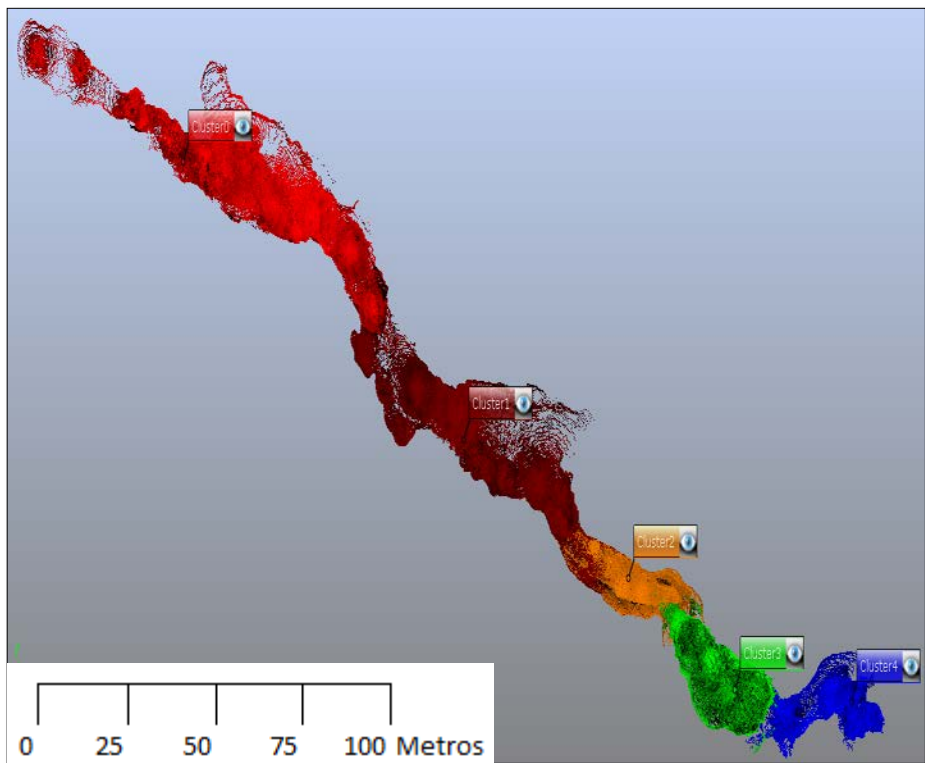
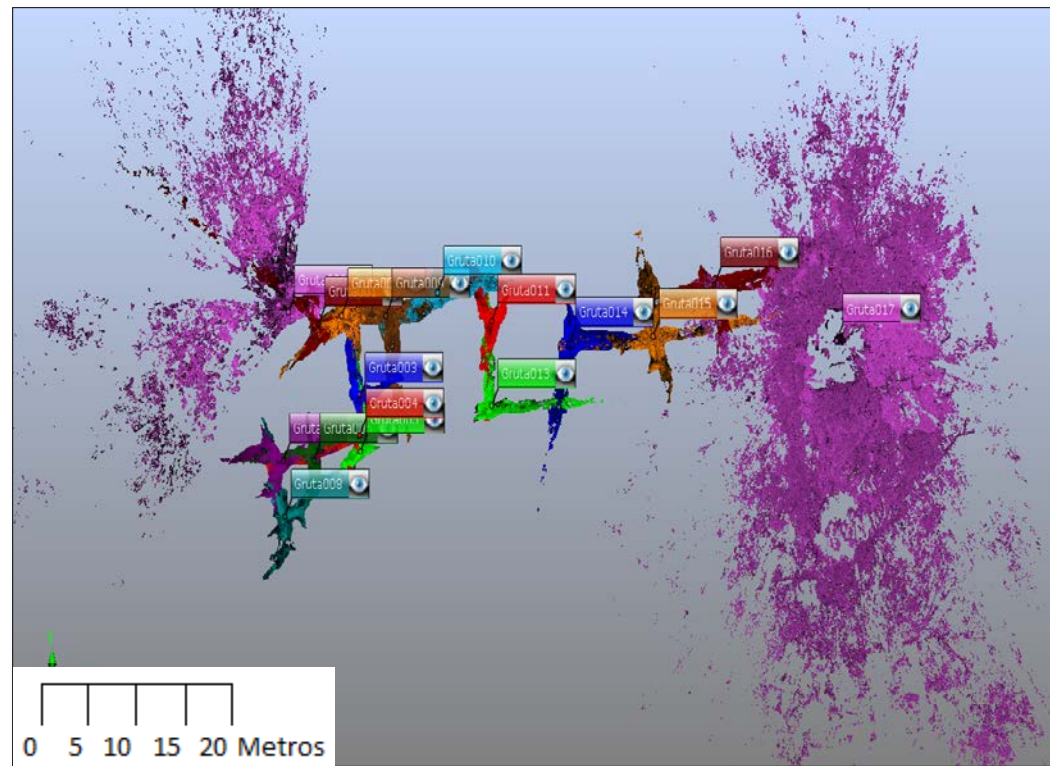


RESULTADOS

Programa Scene 5.1

GRUTA DE LA VIRGEN

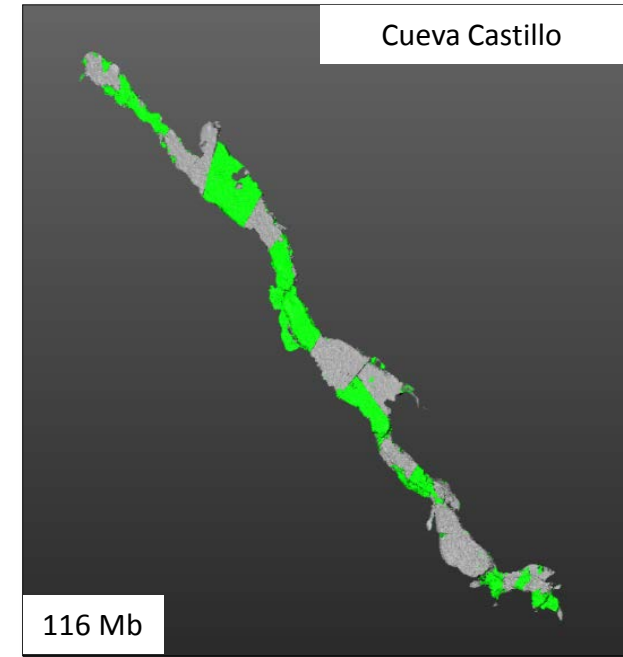
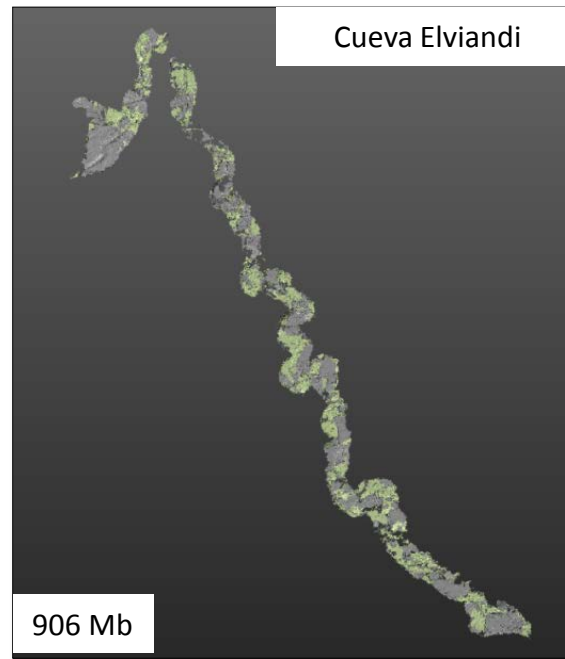
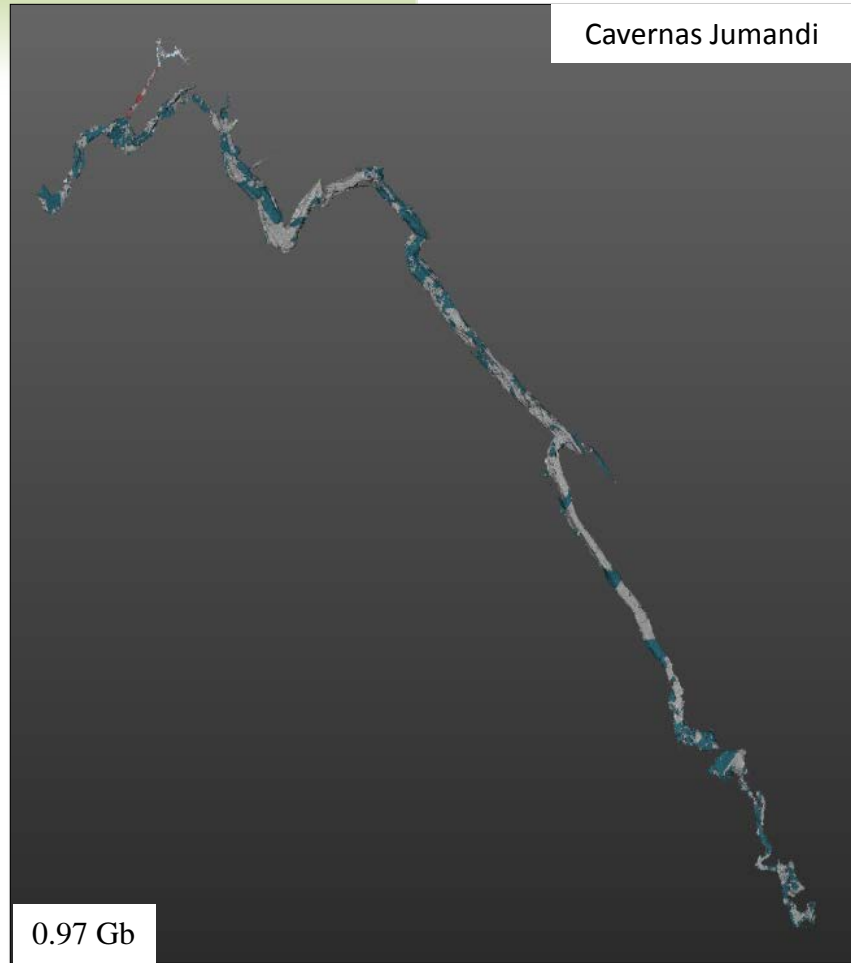
| Duración Escaneo | Tamaño | Post proceso |
|------------------|--------------|--------------------|
| 1 día | 1.55Gb | 20.5Gb |
| Nº escenas | Nº de puntos | Longitud Escaneada |
| 17 | 475'447.296 | 50m |



CUEVA CASTILLO

| Duración Escaneo | Tamaño | Post proceso |
|------------------|--------------|--------------------|
| 1 día | 3.7Gb | 28Gb |
| Nº escenas | Nº de puntos | Longitud Escaneada |
| 38 | 615'284.736 | 200m |

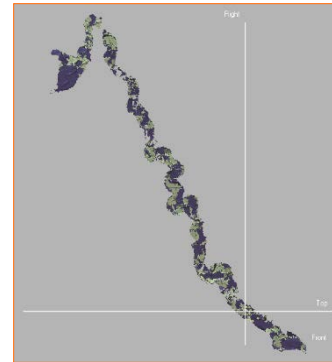
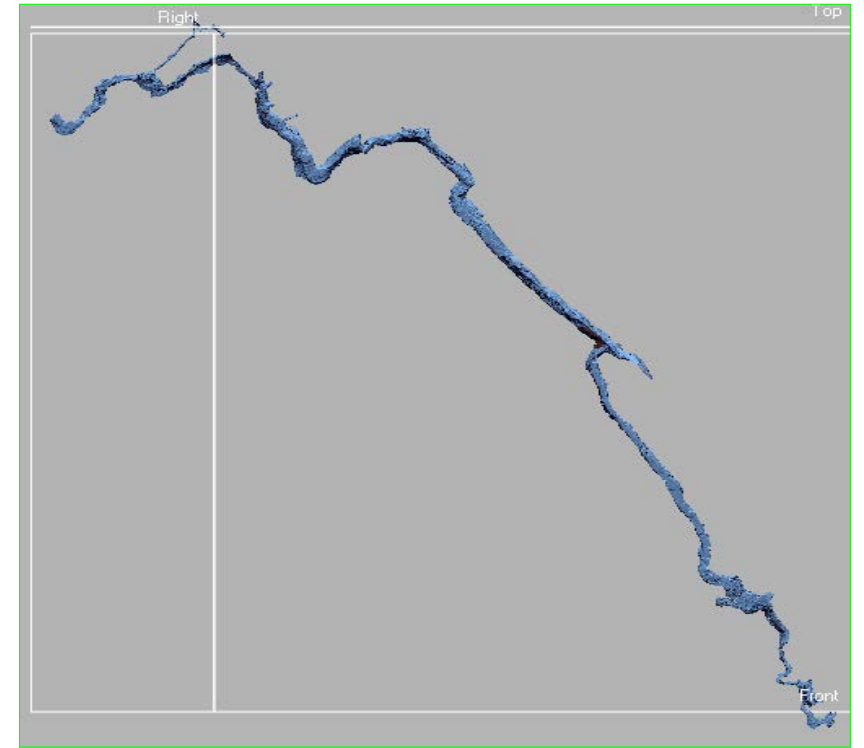
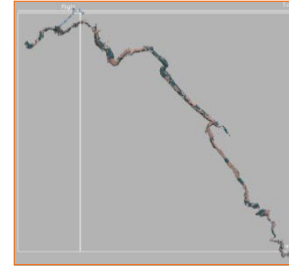
RESULTADOS



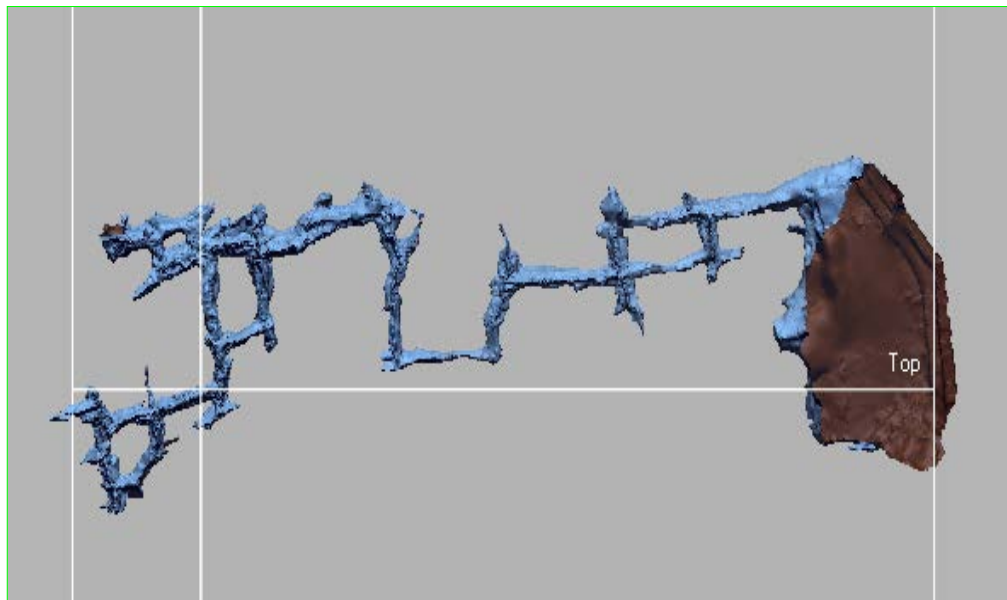
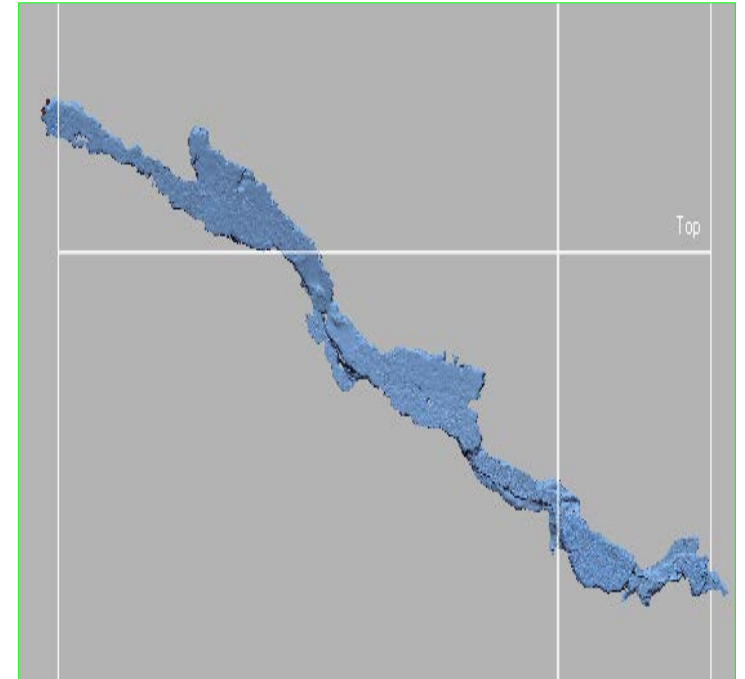
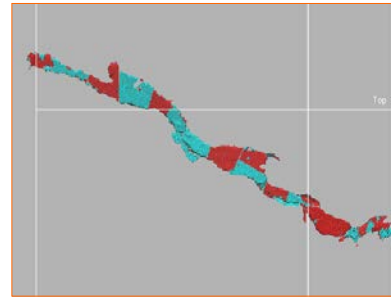
RESULTADOS

Cavernas Jumandi

Cueva Elviandi



RESULTADOS

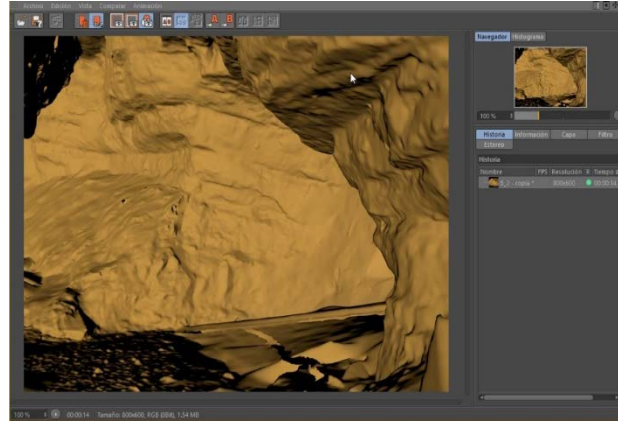


Cueva Castillo

Gruta de la Virgen
Santísima

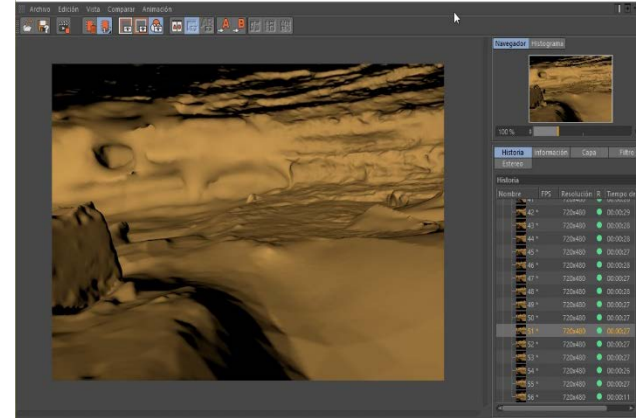
RESULTADOS

Cueva Jumandi



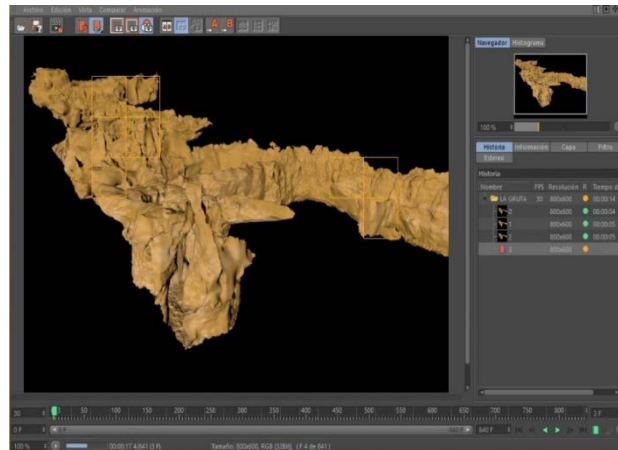
| | |
|----------------|---|
| Nº Animaciones | 6 |
| # Días | 9 |

Cueva Elviandi



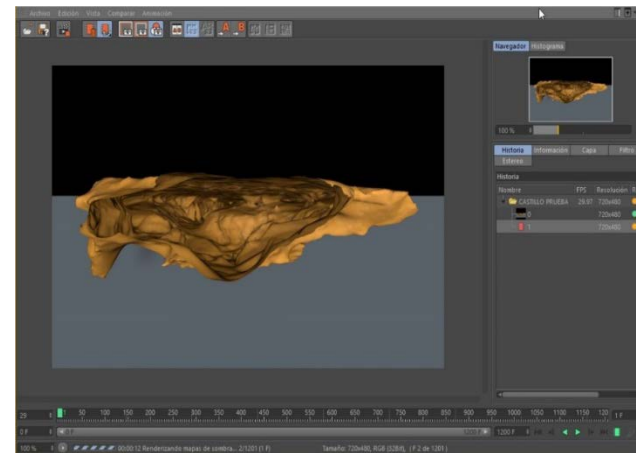
| | |
|----------------|---|
| Nº Animaciones | 1 |
| # Días | 3 |

Gruta de la Virgen Santísima



| | |
|----------------|----|
| Nº Animaciones | 1 |
| # Horas | 22 |

Cueva Castillo



| | |
|----------------|---|
| Nº Animaciones | 1 |
| # Días | 1 |

RESULTADOS

AMBIENTES VIRTUALES


ENTORNO VIRTUAL DE
CUEVA
ELVIANDI


1. INTRODUCCIÓN
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
3. MARCO METODOLÓGICO
4. RESULTADOS
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- La tecnología láser de los sistemas LIDAR es eficiente para el manejo de datos geoespaciales ya que permiten una reconstrucción de los ambientes con alta precisión y en un tiempo relativamente corto, el procesamiento en cuanto a la unión, depurado, modelado y animación de las cavidades subterráneas debe estar respaldada por un conjunto de herramientas, tanto en software como hardware que permitan manejar la enorme cantidad de datos que resultan de cada proceso.





- 
- Los escaneos obtenidos gozan de un buen nivel de detalle que permitió generar cuatro modelos virtuales muy semejantes a la realidad que dan la facilidad de conocer la estructura, morfología, fragilidad de las cavidades subterráneas en estudio. El programa Scene 5.1 permite enlazar las escenas a través de las referencias (esferas), de donde se obtuvo una nube de puntos unificada y lista para ser procesada de acuerdo a la necesidad del proyecto

- 
- El programa Trimble Real Works 8.0 presenta un conjunto de herramientas que son de gran utilidad para el depurado de los detalles innecesarios resultantes del escaneo y permite al usuario un manejo interoperable con otros programas a través de la exportación a diversos formatos

- El proceso de control de calidad indica que el modelo obtenido en el escaneo es muy cercano a la realidad, esta valoración se realizó a través de un muestreo de campo versus los datos obtenidos del software en donde se calculó el error medio, la desviación muestral y un intervalo de confianza del 95% , determinando así la bondad del modelo.



- 
- Para la generación del ambiente virtual se direccionó la investigación en dos etapas: el modelado y la animación, para lograr este objetivo se exploró en varios softwares de procesamiento mismos que no lograron manejar gran la cantidad de datos del escaneo, ni responder a las necesidades del modelado de las cavidades subterráneas, se utilizó el programa Geomagic Design X (DGX) ya que es muy efectivo al momento de modelar datos 3D y el programa Cinema 4D que permite realizar animaciones, a través de la creación de cámaras e iluminación que permitieron obtener los ambientes virtuales de las cavidades subterráneas en estudio.

- 
- Los ambientes virtuales generados pretenden llevar el mensaje de conservación de estos espacios al introducir al usuario en un ambiente de relajación que busca crear conciencia sobre de la belleza escénica que rodea a las cavidades subterráneas del país

- Para realizar el modelado de los datos tridimensionales de las cuevas es necesario contar con una computadora que disponga del hardware y software adecuado para que logre soportar las grandes cantidades de información que se manejan.
- La tecnología láser del escáner es muy útil en este tipo de ambientes pero para obtener mejores resultados tanto en precisión como tiempo de procesamiento, debe ser acompañada de topografía, fotogrametría, croquis, entre otros.
- La validación de datos de las cavidades subterráneas es una propuesta generada a partir del error medio de la medición ya que no existen modelos similares de control de calidad en cuevas en el país; pero sin duda se puede recurrir a otros métodos que puedan resultar menos costosos y quizá más eficientes.



Muchas Gracias

