

9. INTRODUCCIÓN AL SIG APLICADO A LA HIDROLOGÍA¹⁰⁸

Emmanuel Hernán Tummy Gómez¹⁰⁹, Américo Arizaca Avalos¹¹⁰, Fidel Huisa Mamani¹¹¹,
Owal Alfredo Velásquez Visa¹¹², Heinz Miguel Chura Cahuana¹¹³

RESUMEN

El estudio de la hidrología, requiere en estos tiempos la incorporación de nuevas herramientas, que nos permitan no solo desarrollar modelos del comportamiento del ciclo hidrológico, sino también una adecuada gestión de los recursos hídricos; los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han convertido, en la herramienta más importante, para poder desarrollar modelos y pronósticos del comportamiento del ciclo hidrológico que se produce en la cuenca como unidad natural de estudio, si bien hay una infinidad de software libre y comercial, para este propósito se ha utilizado ArcGIS para las demostraciones prácticas por su mejor adaptabilidad en estos propósitos, el objetivo de este capítulo es introducir al lector en los SIG y de forma práctica establecer las fuentes de bases de datos disponibles que luego se procesan para obtener un ráster que nos muestra la imagen de la realidad del terreno.

¹⁰⁸ Derivado del proyecto: SIG en el análisis hídrico de cuencas hidrográficas

¹⁰⁹ Magister en Gestión minera y ambiental, escuela de Post Grado Newman School, docente en la Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú, correo electrónico: ehtummy@unap.edu.pe

¹¹⁰ Dr. en Ciencia Tecnología y Medio Ambiental, escuela de Post Grado UNAP, docente en la Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú, correo electrónico: aarizaca@unap.edu.pe

¹¹¹ Magister en Tecnología de Protección Ambiental, escuela de Post Grado UNAP, docente en la Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú, correo electrónico: fhuisa@unap.edu.pe

¹¹² Magister en Tecnología de Protección Ambiental, escuela de Post Grado UNAP, docente en la Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú, correo electrónico: ovelasquez@unap.edu.pe

¹¹³ Ingeniero de minas, docente en la Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú, correo electrónico: hm.chura@epg.unap.edu.pe



ABSTRACT

The study of hydrology requires in these times the incorporation of new tools, which allow us not only to develop models of the behavior of the hydrological cycle, but also an adequate management of water resources; Geographic Information Systems (GIS) have become the most important tool to be able to develop models and forecasts of the behavior of the hydrological cycle that occurs in the basin as a natural unit of study, although there is an infinity of free software and commercial, for this purpose ArcGIS has been used for practical demonstrations due to its better adaptability for this purpose, the objective of this chapter is to introduce the reader to GIS and in a practical way to establish the available database sources that are then processed to obtain a raster that shows us the image of the reality of the terrain.

PALABRAS CLAVE: Georreferenciación, Modelamiento, Modelos de elevación digital, Sistemas de información geográfica.

Keywords: Georeferencing, Modelling, Digital elevation models, Geographic information systems.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de información geográfica (SIG) hoy más que nunca han tomado mucha importancia en todas las actividades del hombre, convirtiéndose en una herramienta poderosa para resolver infinidad de problemas, del mismo modo es un gran complemento de todas las áreas del conocimiento. Mancebo, Ortega Pérez, et al. (2008) explica sobre los diferentes enfoques que tiene los SIG si bien abarca varios aspectos interrelacionados estos van incluso hasta la incorporación de ordenadores, los equipos periféricos, el software, hardware, los mapas, la base de datos incluso las personas que los operan que permiten hacer superposiciones vectoriales o algebraicas de variada información.


El estudio de las cuencas y el ciclo hidrológico es vital en una gestión adecuada de los recursos hídricos; si consideramos que el cambio climático y otras incertidumbres que existen todavía sigue siendo complejo determinar la dinámica y respuesta geomorfológica de las cuencas frente a las precipitaciones, caudales, avenidas que se producen en el ciclo hidrológico que además está asociada a las actividades productivas de las poblaciones que se encuentran en estos espacios.

Aquí radica la importancia de las herramientas matemáticas y los SIG para poder entender la dinámica de estos fenómenos hidrológicos y su respectiva modelización profundizado la investigación hidrológica de la cuenca como unidad de estudio y que en el futuro permita una gestión. En los estudios sobre calidad del agua los SIG permiten construir mapas de calidad de agua con estructuras lógicas siendo una excelente herramienta para establecer hojas temáticas y mapas que muestran las concentraciones de diferentes factores (Bashir et al., 2020), del mismo modo con esta herramienta se puede lograr evaluaciones estadísticas espaciales, (Taloor et al., 2020) y elaborar algoritmos de programación lineal entre otras opciones (Nobel & Allen, 2000).

Previamente al desarrollo del modelamiento de una cuenca es necesario considerar algunos aspectos conceptuales.

Cartografía

Como parte de la geografía y su discusión está el estudio del espacio existiendo diferentes conceptualizaciones siendo una de ellas la representación cartográfica y sus diferentes variables que no solo contempla el espacio contenedor sin que se considere a las



personas que allí habitan, quedando estos dos enfoques definidos por la cartografía euclidiana o institucional pero que finalmente están relacionados con el concepto de territorialidad en la toma de decisiones (Lobatón, 2009).

Sistemas de información geográfica


En la actualidad la vida cotidiana y las actividades de la humanidad de algún modo están ligadas a los SIG, contar con un celular, un GPS, un vehículo con algo de esta tecnología no es ninguna novedad, es más bien común tenerlo cada vez en muchas otras actividades. Víctor Olaya (2009), redefine muchos conceptos sobre los SIG conceptualizando como un *sistema* que engloba diferentes componentes que están interrelacionados siendo el software y el hardware elementos fundamentales pero no únicos de un SIG, está considerado también como un mapa de orden superior que contiene información cartográfica, geográfica, en esencia tienen un contenido de datos espaciales a los que se puede sumar operaciones a desarrollarse con estos mapas, logrando articular información georreferenciada recurriendo de cualquier forma mediante un ordenador.

Datos

Uno de los componentes de los SIG son los datos, si bien la información geográfica es la razón de los sistemas de información su razón de existencia está en los datos que resulta vital para un buen entendimiento, el conocimiento de la información sobre su origen, su forma o propiedades condicionan los resultados que se esperan de su procesamiento esto implica una gestión adecuada de los datos en la medida que estos se alimentan y crecen de manera permanente, por lo tanto saber integrar información de diferentes orígenes darán calidad a los datos (Olaya, 2009).

Teledetección satelital

Existen diferentes técnicas de teledetección, una de las más destacadas es LiDAR (de light detection and ranging) que usa la luz laser que permite alcanzar imágenes de la superficie terrestre proporcionando datos x, y, z lográndose de esta manera una representación cartográfica; los formatos de datos LIDAR más conocidos se presentan en **.las** como estándar, **TIN** que es un conjunto de triángulos que conectan puntos en los modelos de



elevación digital, **Grids** que son celdas equidistantes conteniendo la elevación asociada, **ASCII**, que guarda un identificador de cada punto x, y, z **Shapefile** como formato de ESRI muy fácil rápido para poder editar asegurando la información LiDAR, **Curvas de nivel** que pueden ser interpolados a partir de los datos LiDAR, **Bases de datos SIG** diseñados para datos LiDAR permitiendo almacenar todos los atributos y **Diseño de geodatabases personales** que son estructuras generales y flexibles cuando se almacenan y exportan datos LiDAR (Albacete & Garmendia, 2011).

Modelo digital del terreno

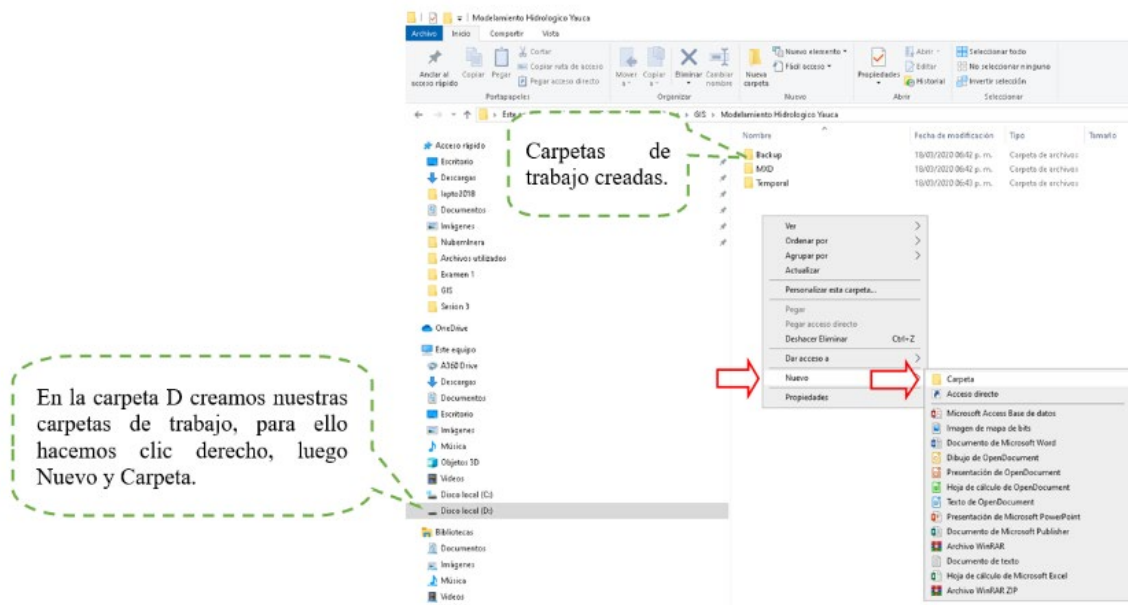
Concepto generalizado para determinar las elevaciones Z o alturas expresado en m.s.n.m. o también denominado levantamiento topográfico que además incluye el propio paisaje como son los ríos, riscos, cañadas y algunos autores incluyen en este concepto aspectos como medidas hipsométricas, pendientes, orientación, etc. (Fallas, 2007).

DESARROLLO

Creación de la base de datos

En el disco D se crea la carpeta de trabajo, ejemplo “modelamiento hidrológico”, en ello se ha creado tres carpetas. La primera carpeta es donde podemos manipular la data, en la segunda carpeta estarán guardado los archivos en formato del programa y en la tercera carpeta estarán todos los geoprocесamientos realizados. Posteriormente anclamos en nuestro programa, en este caso trabajamos con el software ArcGIS 10.3.

Figura 1. Creación de la base de datos



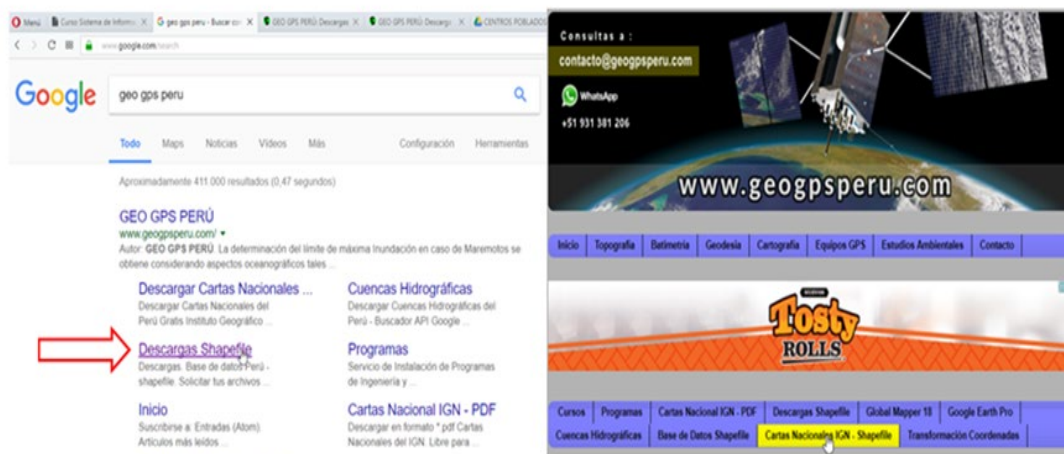
Los shapefile

Los shapefile son formatos que se deben considerar en la integración de Building Information Modeling (BIM)/GIS debido a que es el formato que más se utiliza en la industria GIS que permite la admisión de geometría en 3D y que con facilidad puede intercambiarse con otros software y no se requiere transformaciones (Zhu et al., 2019); debemos precisar que BIM es una metodología que se utiliza para la creación de proyectos de construcción que integran toda la información.

Descargar Shapefile

Existen varios servidores para poder descargar los Shapefile como: GeoIDEP, GEOGPSERU, GEOSERVIDOR MINAM, INGEMMET- GEOCATMIN, etc. Para nuestro caso abrimos en Google la **página de GEO GPS PERU**, tal como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Descarga de shapefile



La mayoría de los productos disponibles están en formato Shapefile por lo que pueden ser introducidos directamente para muchos usos SIG.

Forma de búsqueda.

La descarga se realizó presionando en **Aquí** en la columna **VER** del producto de interés; como por ejemplo en nuestro caso serán: limite departamental, límite provincial, limite distrital. Estos archivos se descargan en formato WinRAR.

Figura 3. Búsqueda de la información

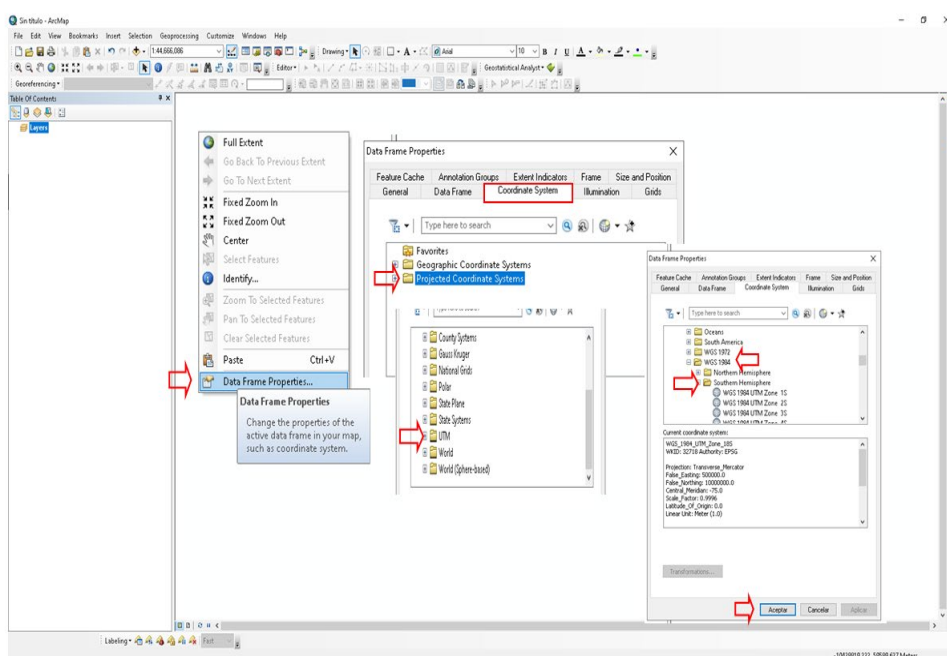
PRODUCTOS: GEO GPS PERÚ : PRODUCTOS						
DIGO	PRODUCTO	DATUM	VER	FORMATO	FUENTE	
P001	Áreas naturales Protegidas	WGS84	Aquí	*.shp	SERNANP	
P002	Banco de la Nación	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P003	Calles - Lima	WGS84	Aquí	*.shp	IMP	
P004	Capacidad de uso mayor de tierras	WGS84	Aquí	*.shp	ONERN	
P005	Capitales departamentales	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P006	Capitales distritales	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P007	Capitales provinciales	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P008	Cartas Geológicas - 1:100 000	WGS84	Aquí	*.shp	INGEMMET	
P009	Cartas Nacionales - 1:100 000	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P010	Centros Poblados	WGS84	Aquí	*.shp	MINEDU	
P011	Clima	WGS84	Aquí	*.shp	SENAMHI	
P012	Cobertura forestal	WGS84	Solicita	*.shp	ONERN	
P013	Cobertura vegetal	WGS84	Aquí	*.shp	MINAM	
P014	Comisarias	WGS84	Solicita	*.shp	MINEDU	
P015	Comunidades Campesinas	WGS84	Aquí	*.shp	COFOPRI	
P016	Comunidades Nativas	WGS84	Aquí	*.shp	IBC	
P017	Cuadro de Empalme	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P018	Cuencas Hidrográficas	WGS84	Aquí	*.shp	ANA	
P019	Establecimientos de salud	WGS84	Aquí	*.shp	MINSA	
P020	Geomorfología	WGS84	Aquí	*.shp	ONERN	
P021	Hitos	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P022	Instituciones educativas	WGS84	Aquí	*.shp	MINEDU	
P023	Límite departamental	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P024	Límite distrital	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P025	Límite provincial	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P026	Línea Ferrea	WGS84	Aquí	*.shp	MTC	
P027	Planos de Lima Metropolitana	PSAD56	Solicita	*.shp	IMP	
P028	Puertos	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P029	Red vial departamental	WGS84	Aquí	*.shp	MTC	
P030	Red Vial nacional	WGS84	Aquí	*.shp	MTC	
P031	Red vial vecinal	WGS84	Aquí	*.shp	MTC	
P032	Reniec	WGS84	Aquí	*.shp	MTC	
P033	Ríos, lagos y lagunas	WGS84	Aquí	*.shp	ANA	
P034	Sitios Aqueológico	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P035	Sueltos	WGS84	Aquí	*.shp	MINEDU	
P036	Trochas	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	
P037	Zonas de vida	WGS84	Aquí	*.shp	IGN	

Clic en Aquí, posterior a ello, procedemos a descargar [Limite distrital.rar](#), [Limite provincial.rar](#) y [Limite departamental.rar](#) y listo

Exportar datos

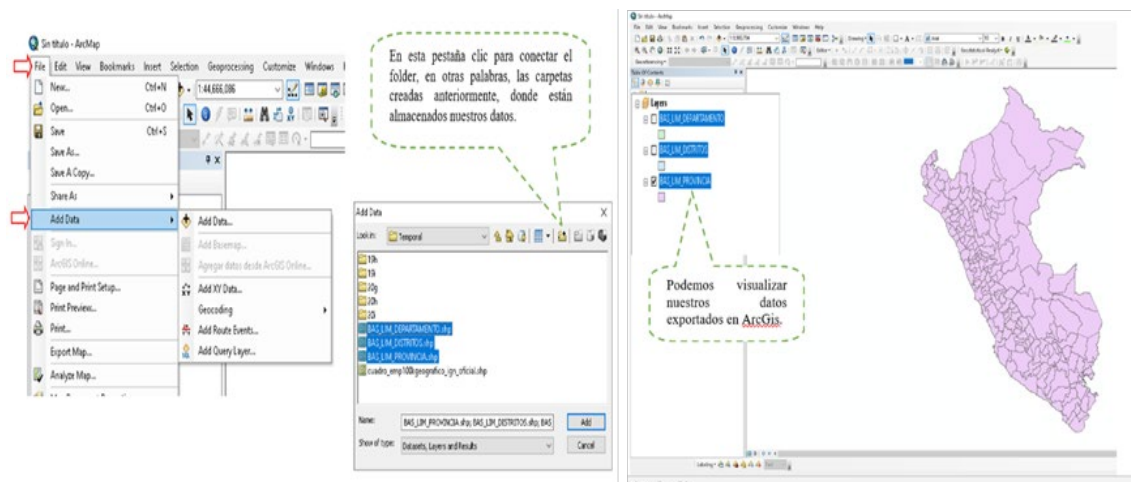
En el software ArcGIS exportamos los datos descargados como: limite distrital, provincial, departamental, las cartas nacionales y el cuadro de empalme de Perú. Antes a ello, se procedió a determinar el sistema de coordenadas con la siguiente ruta **Data Frame Properties / Coordinate System / Projected Coordinate Systems / UTM / WGS 1984 / Southern Hemisphere / Zona** (en el Perú tenemos la zona 17, 18 y 19) finalmente **Aceptar y Aplicar**.

Figura 4. Determinación del sistema de coordenadas en GIS



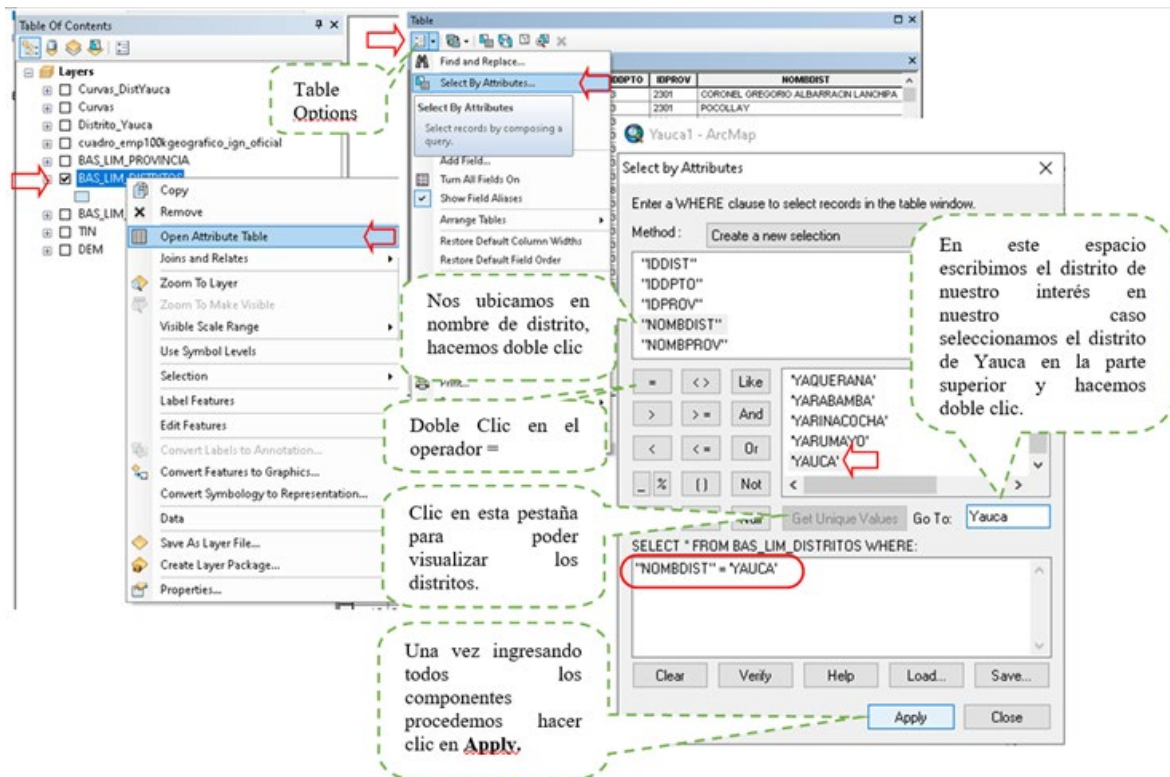
Determinado el sistema de coordenadas procedemos a exportar los datos con la siguiente ruta: **File / Add Data / Add**.

Figura 5. Exportación y visualización de datos



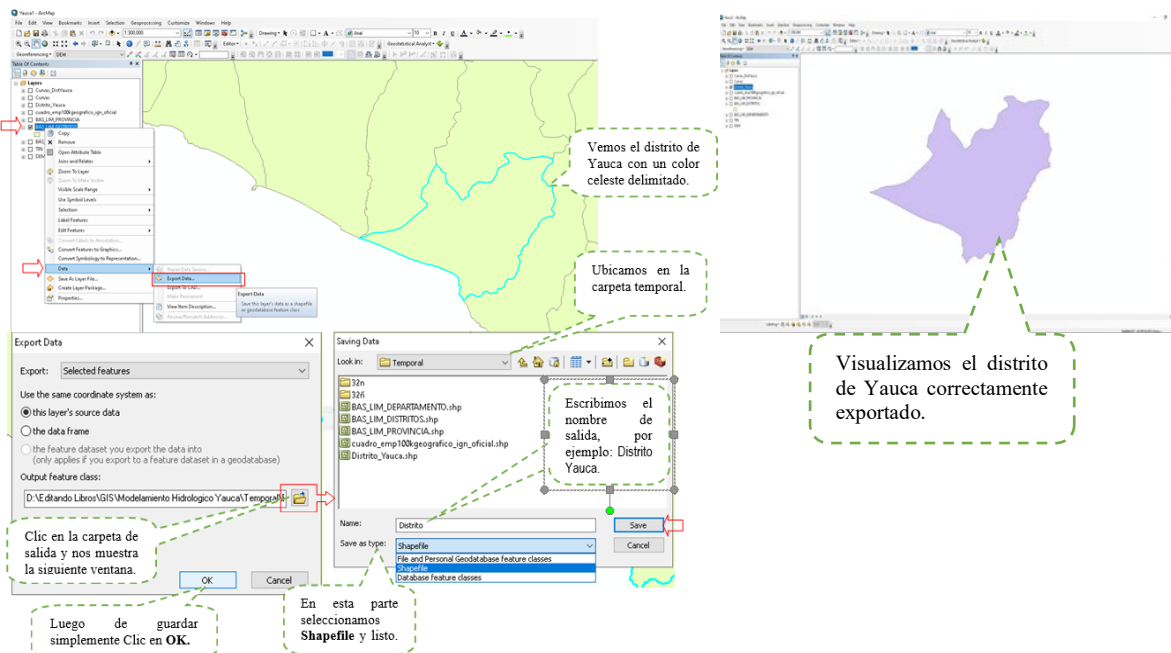
Exportación de nuestros datos de interés, para el ejemplo trabajamos con el distrito de Yauca, provincia de Caraveli y departamento de Arequipa. Con la siguiente ruta: en la tabla de contenidos *Lim_distritos / Open Attribute Table / Table Options / Select by Attributes*.

Figura 6. Selección del distrito de interés-Yauca



En la figura 7 se visualiza el distrito seleccionado. Por lo tanto, procedemos a exportar siguiendo la ruta: **LIM_DISTRITOS / Data / Export Data**.

Figura 7. Exportación de datos de interés-distrito de Yauca

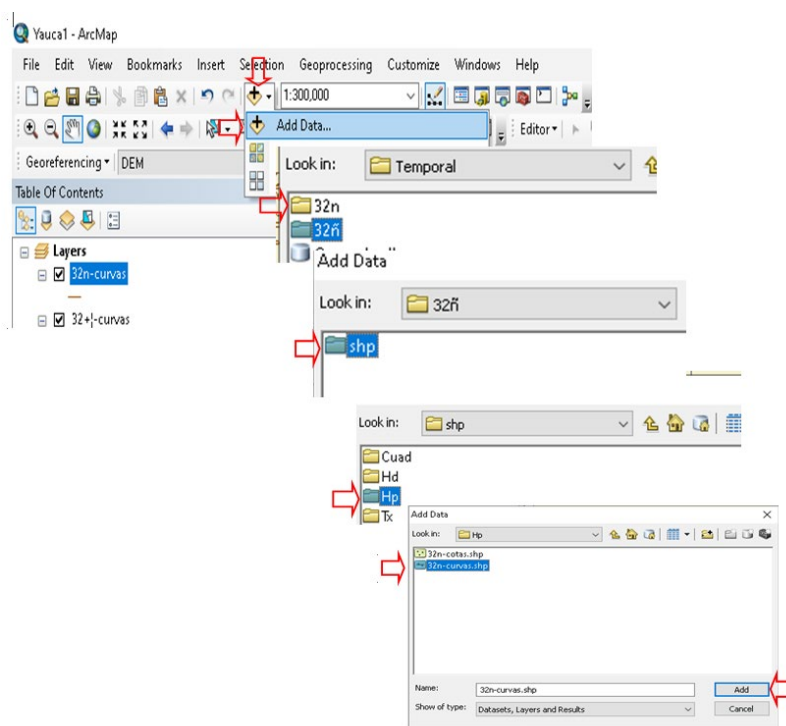


Unión de Datos

Antes de realizar la unión de datos, se crea un **File Geodatabase** con la siguiente ruta: **Catálogo / Carpeta temporal / New / File Geodatabase**. creamos una base de datos con el nombre **General**; y en ello crearemos nuestro **Feature Dataset** con la siguiente ruta: **General / New / Feature Dataset** aquí creamos un **WGS 84**.

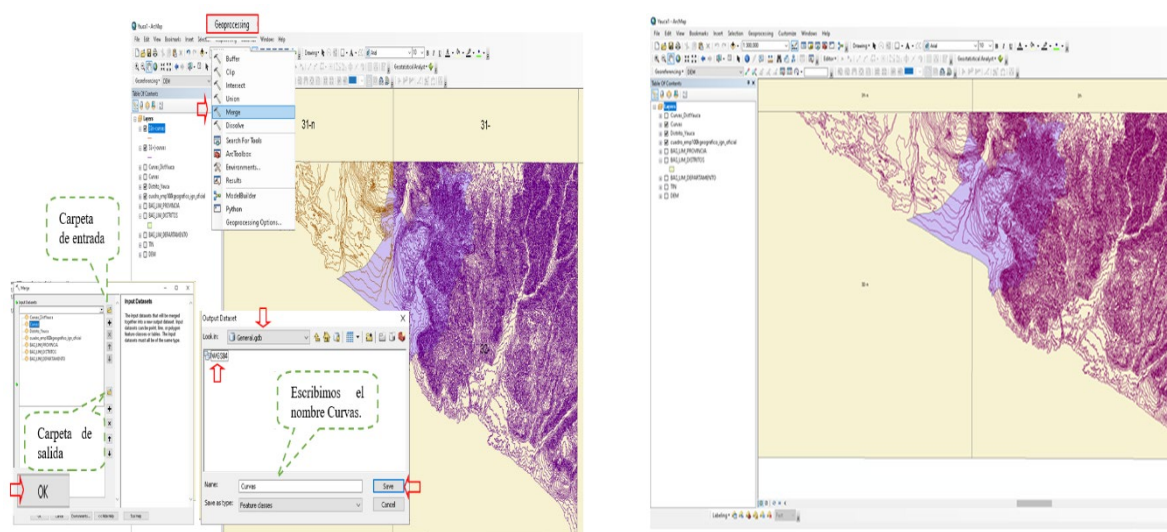
En la figura 9 se muestra los códigos de las cartas nacionales 32-n y 32-ñ que corresponden zona de proyecto (distrito de Yauca); esto quiere decir, que trabajamos con datos de dichas cartas nacionales. Los datos son exportados siguiendo la ruta: **Add Data / carpeta temporal / 32-n / shp / Hp / Curvas / Add.**

Figura 10. Exportación de datos-curvas de nivel



Se observa la información de las curvas de nivel cargadas tanto la carta 32-n y 32-ñ, y esta información se encuentra separada por lo que, debemos de unirlos para trabajar; la herramienta **Merge** nos ayudará con este proceso. Se siguió la siguiente ruta: **Geoprocessing / Merge** (nos mostrara una ventana donde elegiremos **32n curvas y 32ñ curvas**), luego en la carpeta de salida se guarda en **Temporal / General / WGS84 / Save / OK.**

Figura 11. Curvas de nivel unidas

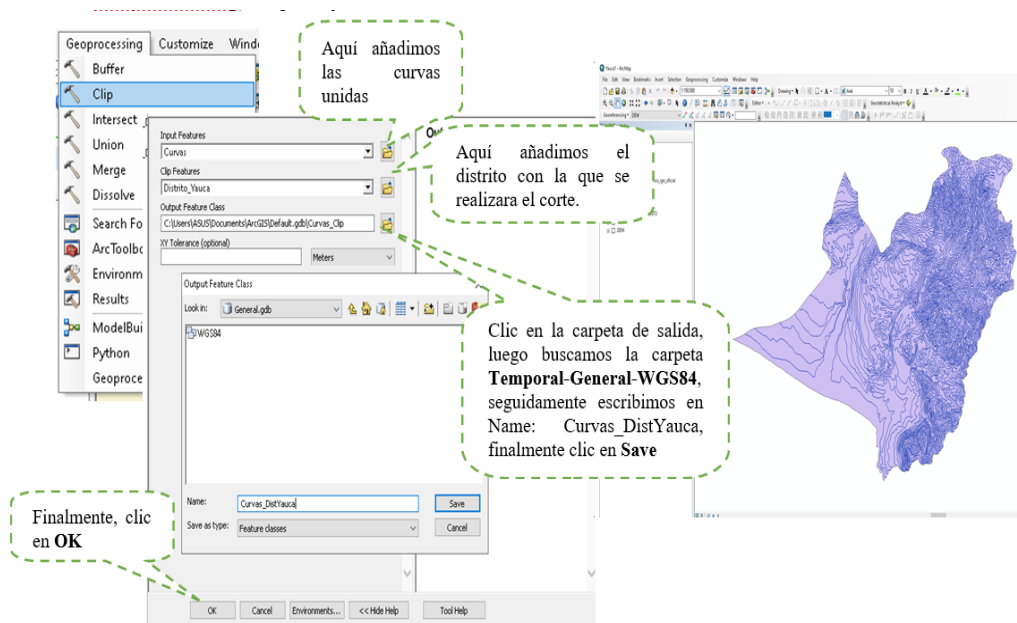


En la figura 11 Se observa datos de las curvas de nivel de las cartas 32n y 32ñ en una sola capa.

Cortar Datos

Para cortar los datos utilizamos la herramienta **Clip** se siguió la ruta: **Geoprocessing / Clip**. Tal como se muestra en la figura 12.

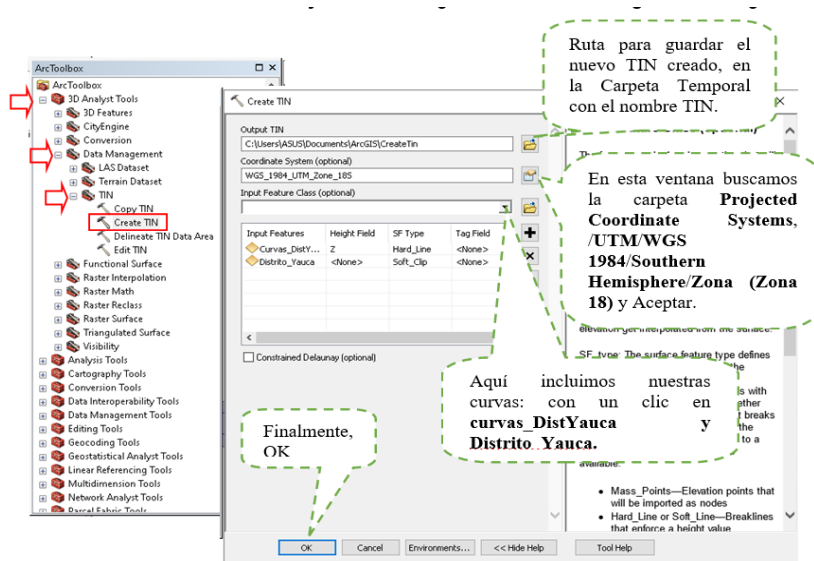
Figura 12. Curvas de nivel distrito de Yauca



Modelamiento de Superficies

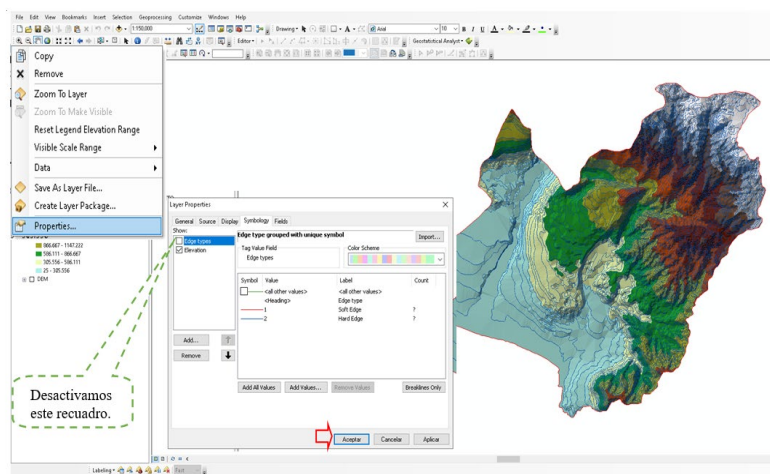
En esta etapa utilizamos la herramienta **ArcToolbox**. En ArcGIS para realizar modelamiento utilizaremos la función **TIN**, lo cual seguiremos la siguiente ruta: **ArcToolbox / 3D Analyst Tools / Data Management / TIN / Create TIN**.

Figura 13. Configuración del TIN en ArcToolbox



Si observamos la figura 14 tenemos creado nuestro TIN, pero vemos curvas de color azul. Para realizar la limpieza simplemente clic derecho en **TIN** en la Table Of Contents, nos abrirá una ventana en donde nos vamos a **Symbology** y en el primer recuadro desactivamos y finalmente **Aplicar y Aceptar**.

Figura 14. TIN creado del distrito de Yauca

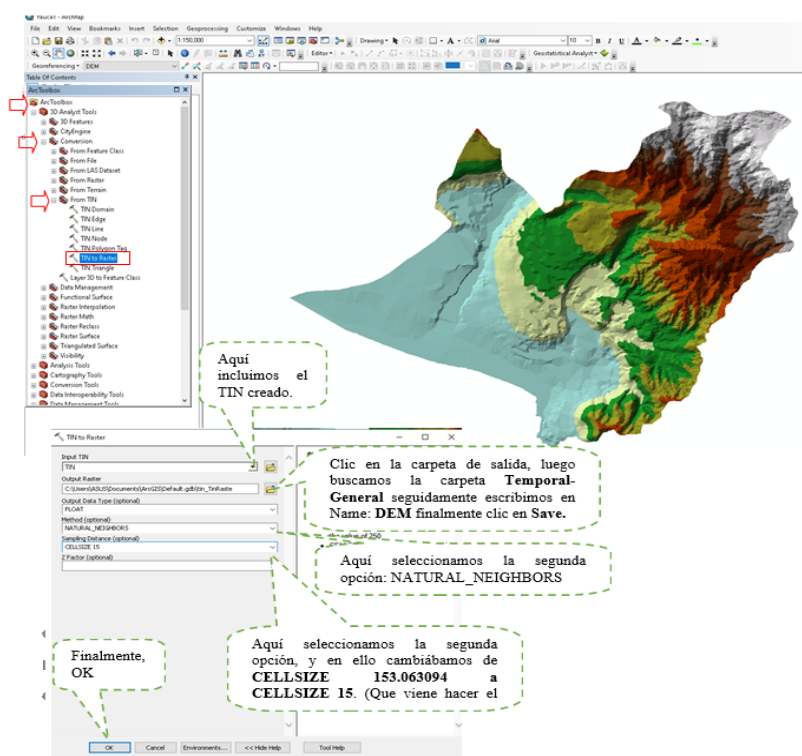


Definición de Ráster

Los ráster se configura como una estructura de datos espaciales que fraccionan una área en rectángulos denominados celdas o píxeles que pueden almacenar uno o más datos, en algunos casos se le denomina cuadrícula que representan la realidad del terreno, que también pueden compararse con datos vectoriales utilizados para representar líneas y polígonos (Hijmans et al., 2013).

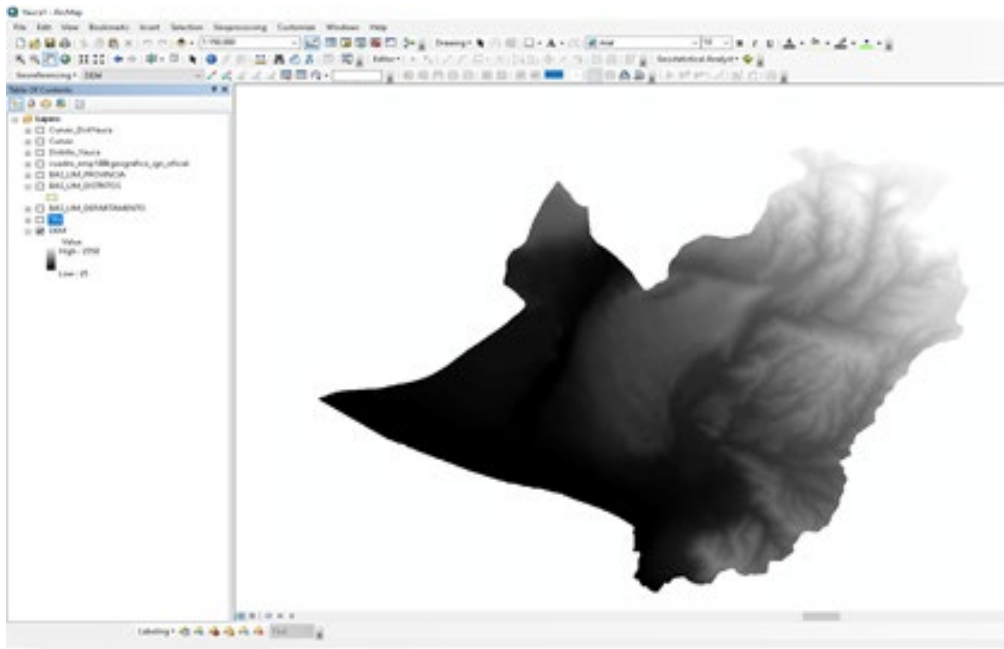
A continuación, convertiremos nuestro TIN en un Ráster; lo cual se procede siguiente la ruta: En *ArcTool Box / 3D Analyst Tools / Conversion / From TIN / TIN to Raster*.

Figura 15. Conversión de TIN a Ráster



Finalmente, podemos observar en la figura 16 el Raster del distrito de Yauca, además nos muestra un color oscuro que representa la altitud para nuestro caso tenemos 25 m.s.n.m y los colores más blancos representa la altitud máxima sobre cómo se visualiza para el distrito Yauca es de 2550 m.s.n.m.

Figura 16. Ráster del distrito de Yauca



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la actualidad es indispensable recurrir a los SIG en el estudio de los recursos hídricos, debido a que estos abren la posibilidad de brindar información variada e interrelacionada con mapas que muestran la realidad del terreno además de la versatilidad en el manejo y la disponibilidad de datos a los que se tiene acceso con muy pocas restricciones (Mancebo, Ortega, et al., 2008; Olaya, 2009); si bien existen diferentes formas de conceptualizar el espacio una gestión adecuada de los recursos hídricos pasa por incorporar el concepto de territorialidad para poder tomar decisiones (Lobatón, 2009).

Las fuentes de información satelital hoy en día se brindan por diferentes instituciones tanto nacionales como internacionales, sin datos no será posible concebir ningún tipo de mapas o pretender obtener información del terreno y sus componentes que allí se encuentran. Integrar información de diferentes fuentes igualmente darán calidad a los datos como lo señala Olaya (2009), que además indica que los resultados de su procesamiento dependerán del origen y sus propiedades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albacete, A., & Garmendia, L. (2011). Procesamiento de datos LiDAR con ArcGIS Desktop 10. *Universidad Complutense de Madrid*.
- Bashir, N., Saeed, R., Afzaal, M., Ahmad, A., Muhammad, N., Iqbal, J., . . . Hameed, S. (2020). Water quality assessment of lower Jhelum canal in Pakistan by using geographic information system (GIS). *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100357.
- Fallas, J. (2007). Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. *Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional, Costa Rica*.
- Hijmans, R. J., Van Etten, J., Mattiuzzi, M., Sumner, M., Greenberg, J. A., Lamigueiro, O. P., . . . Shortridge, A. (2013). Raster package in R. *Version. sjtug. sjtu. edu. cn/cran/web/packa ges/rast e r/raster. pdf*.
- Lobatón, S. B. (2009). Reflexiones sobre Sistemas de Información Geográfica Participativos (SIGP) y cartografía social. *Cuadernos de Geografía: revista colombiana de geografía*(18), 9-23.
- Mancebo, Q. S., Ortega Pérez, E., Valentín Criado, A. C., Martín Ramos, B., & Martín Fernández, L. (2008). LibroSIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental.
- Nobel, C. E., & Allen, D. T. (2000). Using Geographic Information Systems (GIS) in Industrial Water Reuse Modelling. *Process Safety and Environmental Protection*, 78(4), 295-303.
- Olaya, V. (2009). Sistemas de información geográfica. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*(8), 15.
- Taloor, A. K., Pir, R. A., Adimalla, N., Ali, S., Manhas, D. S., Roy, S., & Singh, A. K. (2020). Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using geographic information system (GIS) and water quality Index(WQI). *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100364.