Vol. 1, Núm.3 (2022)

ISSN 2735-6930

Revista Digital

Cartógrafo.CL

Revista Digital
Cartógrafo.CL

Revista digital técnico-profesional, independiente y pluralista; no arbitrada. Orientada a la difusión de temas e informaciones sobre Cartografía y Geomática; así como a todas las ciencias, técnicas y disciplinas asociadas a las Geociencias.

Vol. 1—N° 3
ISSN 2735-6930

Fecha de publicación:
30 de junio de 2022

Periodicidad:
Bianual

País:
Chile

Idioma:
Español

Las opiniones vertidas en esta revista son de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente se corresponden con las de Cartógrafo.CL

Director:
Gabriel Moraga Gormaz
cartografo@cartografo.cl

Edición y diagramación:
Editorial Cartógrafo.CL
editorial@cartografo.cl

https://cartografo.cl

Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.

TABLA DE CONTENIDOS

Editorial (p. 3)

Artículos Técnico-Profesionales

Análisis de susceptibilidad por movimientos en masas de los taludes del Km 28 Vía Perimetral a Km 11 Vía a la Costa
Abi Xavier Espinoza Ramírez - Ecuador (pp. 5- 27)

Del escandallo al satélite: Una historia mal contada sobre la Hidrografía
Alejandro Geronés – Cuba / Canadá (pp. 28- 44)

Cartografía: ¿Una disciplina ignorada en Chile?
Marcela Salinas Torres - Chile (pp. 45 - 67)

Caracterización del evento de sequía meteorológica durante el período 2014-2017 en la provincia Ciego de Ávila – Cuba
Alexey Valero Jorge – Cuba (pp. 68- 89)

Artículos Didácticos

Aplicación de la Ingeniería Geomática en la Minería
Arturo Arenas Rauda – México (pp. 91- 96)

Cartografía Náutica / Nautical Cartography
Gabriel Moraga - Chile (pp. 97-113)

Revista Digital
Cartógrafo.CL

EDITORIAL

No es un secreto que la tecnología ha invadido todos los ámbitos de nuestras vidas, tanto personal como profesional, desde el entretenimiento, el ocio, la investigación y la academia, hasta el medioambiente y la conservación, entre otros.

En las geociencias se han desarrollado numerosas aplicaciones y modelos tecnológicos, que la han transformado en un pilar fundamental para el desarrollo de la sociedad. En este aspecto, la cartografía ha asumido un papel protagónico en este importante momento de la historia. Esto es fácilmente comprobable, si tenemos como premisa que "todo es cartografiable", y que el análisis cartográfico es imprescindible y transversal a las geociencias, considerando el explosivo aumento de aplicaciones, sistemas de software, hardware, así como también de profesionales desarrolladores y analistas.

Uno de los artículos de este N° 3 de CARTÓGRAFO.CL hace referencia precisamente a la situación de uno de los protagonistas del desarrollo tecnológico y del papel de las geociencias en la sociedad actual: me refiero al cartógrafo, específicamente al profesional cartógrafo de Chile, que en la actualidad está en vías de extinción. La institución que históricamente formaba al profesional cartógrafo en Chile, la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM), desde hace unos años ha dejado de recibir ingresos a la carrera; es decir, en dos o tres años más se titulará el último cartógrafo. Para todos los que abrazamos esta hermosa y milenaria profesión, esta situación es verdaderamente lamentable, si consideramos el papel protagónico de los cartógrafos en la historia y en la sociedad actual.

Las razones del cierre de la carrera de cartografía en Chile pueden ser difusas, pero lo que sí está claro es el gran perjuicio a la sociedad. Las competencias del cartógrafo no se encuentran en ningún otro profesional, a pesar de hablar un lenguaje común con los geógrafos, los geomensores, los geólogos, los topógrafos, etc. En la actualidad, somos muchos los cartógrafos que desempeñamos importantes funciones en la industria y en la academia, y que de una u otra forma difundimos el legado de los primeros cartógrafos. Estoy cierto de que ellos estarán "revolcándose en sus tumbas" al ver extinguirse esta ciencia que ha acompañado al hombre por milenios.

Desde esta tribuna, hago un llamado a la UTEM a reconsiderar la medida; los cartógrafos, fuimos, somos y seremos necesarios para el desarrollo de los países. No olviden que la UTEM ha sido la única institución ha entregado el título profesional de cartógrafo en Sudamérica.

Queda hecho el llamado a mi *alma mater* y a cualquier institución de educación superior que se interese en recuperar el legado histórico de Heródoto, Hiparco, Ptolomeo, Vespucio... y tantos otros.

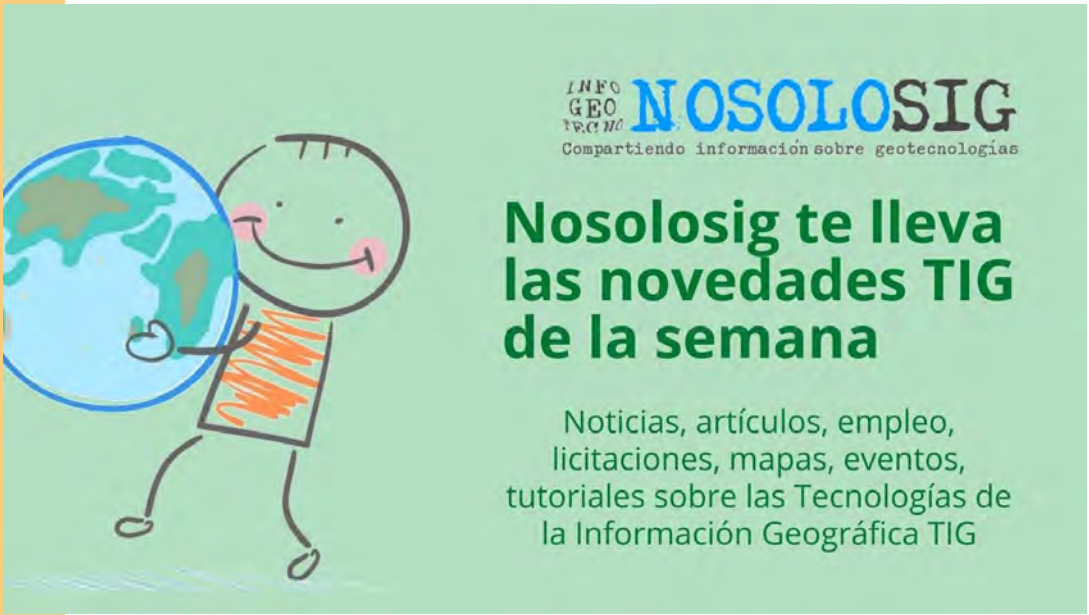
Saludos desde Valparaíso de Chile.

GABRIEL MORAGA GORMAZ
Cartógrafo y Magíster en Geomática
Director de Cartógrafo.CL

Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.

https://www.agustingutierrezfornes.com

https://srmconsulting.es



https://www.nosolosig.com

Cartógrafo.CL/03-2022

Análisis de susceptibilidad por movimientos en masas

de los taludes del Km 28 Vía Perimetral a Km 11 Vía a la Costa, Guayaquil (Ecuador)

Abi Xavier Espinoza Ramírez (*)

(*) Ingeniero Geólogo

Ecuador

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo el análisis de susceptibilidad por movimientos de masas de los taludes entre el Km 28 Vía Perimetral a Km 11 Vía a la Costa, ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. Mediante la recopilación de trabajos realizados en la zona y la interpretación de imágenes satelitales, se realizó la selección de lugares para el trabajo de campo, con los que se definen las características geológicas, estructurales y geomecánicas del área de estudio. Luego con la información obtenida, se calcula en gabinete la valoración Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski (1989) de los taludes, y se determina su tipo de rotura mediante análisis cinemático en el software DIPS; además se confecciona una serie de mapas temáticos en el SIG ArcGIS referente a pendientes, tipos de cobertura, geología, valoración geomecánica y precipitación; cuyos rangos y ponderaciones están acorde a la modificación realizada del método Mora-Vahrson (1993). Al finalizar se obtiene como resultado un mapa de susceptibilidad de movimientos en masa que permitió clasificar la zona de estudio en cinco clases: Muy alta, Alta, Media, Baja y Muy Baja. Se manifestó la predominancia de la susceptibilidad Alta en más de un 33 % del área estudiada, seguida de un 30.4 % y 16 % correspondientes a rangos de susceptibilidad Muy Baja y Media.

abixavierespinoza@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masas son fenómenos modeladores del relieve, en los cuales un volumen de material conformado por suelo, rocas, escombros o combinaciones de estas se desplazan por acciones gravitatorias a lo largo de una ladera o talud (CORCUENCAS, 2019), lo que se considera como un peligro, ya que potencialmente pueden afectar infraestructuras, vías y poblaciones, que según su grado de vulnerabilidad pueden ser impactadas de manera negativa en el desarrollo normal de sus actividades económicas y sociales.

Por lo tanto, es de gran importancia el conocimiento de los factores que provocan dichos fenómenos, así como su distribución espacial y temporal, la efectividad de las distintas metodologías de estudio y sus ensayos en campo para lograr la correcta evaluación y determinación del grado de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgos de una localidad.

Este trabajo tuvo por objeto el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa a través de las características que presenta el área de estudio comprendida desde el Km 28 de Vía Perimetral al Km 11 de Vía a la Costa, sector oeste de la cordillera Chongón Colonche, y que durante los últimos años ha presentado una alta tendencia hacia la urbanización, con lo que se busca conocer las condiciones predominantes que generan tal fenómeno y clasificar el terreno acorde a niveles de nula a alta susceptibilidad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Acorde con los censos del Instituto Nacional de Estadística y Censo, INEC, del 2010 y sus proyecciones hasta el 2020, existe un crecimiento demográfico importante en Guayaquil (15.8 %), donde la parroquia Tarqui se constituye como la más densamente poblada, y que por su falta de planificación urbana se vuelve vulnerable ante los impactos de deslizamientos (I Care Environment, 2018).

Estudios de CLIRSEN & SIGAGRO (2011) establecen áreas de amenaza por movimientos en masa en todo el territorio; sin embargo, debido a su falta de actualización periódica, los proyectos urbanísticos del oeste de Guayaquil podrían desarrollarse sin considerar factores de estabilidad o susceptibilidad ante estos fenómenos, lo cual demanda la pronta realización de estudio en dicha zona.

La zona de estudio ha sido elegida de acuerdo con la tendencia de urbanización presente en el oeste de la ciudad durante la última década (vía Perimetral y vía a la Costa), en la cual se selecciona parte de la Cordillera Chongón Colonche (al costado de la ciudadela Los Ceibos), con el fin de definir su estabilidad como macizo rocoso y la susceptibilidad que presentan sus cerros frente a la presencia de movimientos en masa que puedan desarrollarse en términos de corto a largo plazo. Información que será de utilidad para proyectos por realizarse en el lugar considerando la consecuente expansión poblacional de la urbe.

Objetivos

- ### Objetivo general

  Realizar un análisis de susceptibilidad a los movimientos en masa de los taludes ubicados en el sector oeste de Guayaquil, entre el Km 28 de la Vía Perimetral hasta el Km 11 de Vía a la Costa.

- Objetivos específicos

—Identificar lugares susceptibles mediante la revisión de estudios geológicos y estructurales realizados previamente en el sector.

—Caracterizar los afloramientos mediante la aplicación del método geomecánico RMR de Bieniawski (1989).

—Diseñar mapas temáticos referentes a parámetros de relieve, tipo de cobertura, geología, valoración geomecánica y precipitación del área de estudio.

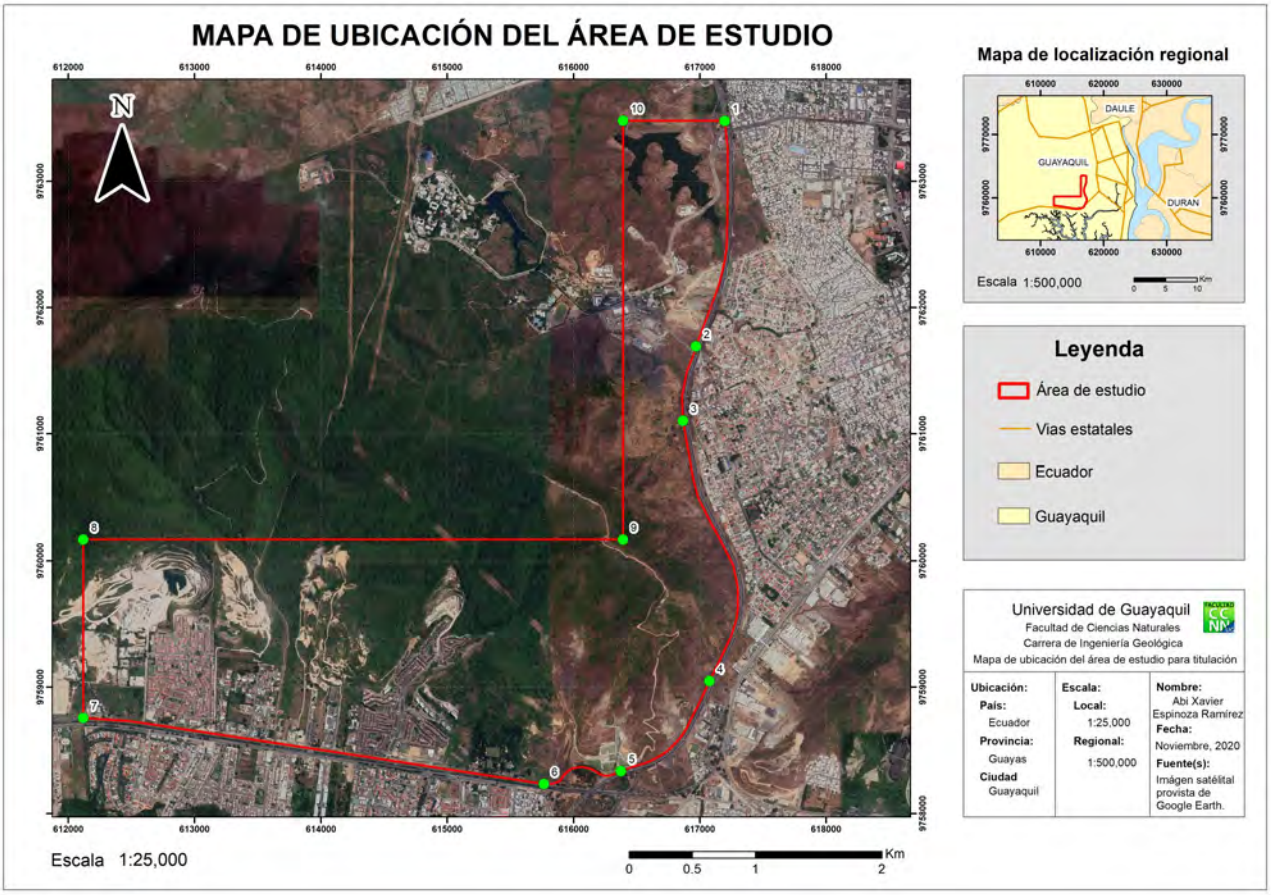
—Determinar la susceptibilidad de movimientos de masas en el área de estudio según el método Mora-Vahrson (modificado).

Ubicación

El área de estudio se ubica en el Cantón Guayaquil, Guayas, correspondiente a los taludes del Km 28 Vía Perimetral, que comprende desde el intercambiador de La Prosperina hasta el Km 11 de Vía a la Costa, o también conocida como la Vía Guayaquil-Progreso, abarcando unos 10.7 km2 aproximadamente (Figura 1).

Comprende taludes a pie de la Vía Perimetral, áreas mineras con actividades extractivas a cielo abierto, la Universidad ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral), el colegio Cruz del Sur, la ciudadela Bosques de los Ceibos, el Panteón Metropolitano y ciudadelas de Vía a la Costa tales como la Urbanización Casa Club, Torres del Salado, Portal al Sol y Bosques de la Costa.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio (Elaboración propia).



Entorno geográfico

El cantón de Guayaquil, al igual que la provincia del Guayas a la que pertenece, se asienta sobre el denominado relieve costanero, que comprende planicies y topografías altas a moderadas situadas sobre el complejo volcánico cretácico denominado como Fm. Piñón (basaltos, diabasas y andesitas).

Su hidrografía corresponde a un ambiente estuarino conformado por dos afluentes: estero Salado y el río Guayas. Este último es el afluente principal cuyo cauce depende de las mareas y la unión de los ríos Babahoyo y Daule, con los que engloba una cuenca de 34.500 km^2 de extensión y que descarga anualmente unos 30.000.000 m^3, lo que la convierte en el sistema fluvial más importante de la vertiente occidental de la cordillera de los Andes (GeoEstudios & Consulsua, 2012).

En cuanto a su clima, corresponde a una zona intertropical, la que presenta dos tipos de estaciones climáticas: verano e invierno. Estas se manifiestan primordialmente a través de precipitaciones y variaciones de temperatura, que están influenciadas por corrientes climáticas y marinas como el Fenómeno del Niño, la corriente Humboldt y el Fenómeno de La Niña.

El tipo de vegetación en la región varía en dependencia de la topografía y las actividades antrópicas, donde es más frecuente una cobertura vegetal densa correspondiente a bosques húmedos y secos en relieves altos y zonas protegidas, mientras que bosques secos son más predominantes en relieves bajos y laderas (Castro, 2020).

MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentan breves conceptos temáticos en los que se basa la resolución del estudio de susceptibilidad.

Macizo rocoso

El macizo rocoso se define como el medio natural en que se presentan las rocas, caracterizado por su litología y discontinuidades, las cuales son planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. En consecuencia, los macizos rocosos son discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas (Ramírez & Alejano, 2008), es decir, características y orientaciones estructurales variables.

Discontinuidades

Las discontinuidades o fracturas son planos de debilidad de un macizo rocoso o de una masa de suelo que separa bloques de material casi intacto. Estos planos pueden originarse de manera mecánica o sedimentaria y se caracterizan por su baja o casi nula resistencia a la tracción, entre los que se cuenta a los planos de estratificación, las diaclasas o juntas, las grietas, las microfallas, los planos de esquistosidad y las superficies de falla; todas las que con su presencia implican un comportamiento no continuo del macizo (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

Clasificación geomecánica

El sistema de clasificación geomecánica denominado como Rock Mass Rating (RMR), fue inicialmente desarrollado en el Consejo Sudafricano de Investigación Científica e Industrial (CSIR por sus siglas en inglés) por Bieniawski el año 1973, y

con el paso de los años ha evolucionado en cuanto a sus parámetros, ajustes y límites.

Su método de clasificación es de tipo cuantitativo, es decir, designa valores numéricos a características intrínsecas del macizo rocoso y sus estructuras con el fin de cuantificar dichos parámetros y establecer las condiciones de estabilidad de un macizo.

Susceptibilidad

El término susceptibilidad, según Ayala-Carcedo & Olcina (2002), es la tendencia o propensión de un lugar a ser afectado físicamente por un peligro, determinada a través de un análisis comparativo de factores condicionantes y/o desencadenantes, cualitativo o cuantitativo, con las áreas que han sido afectadas en el pasado y que generalmente se plasma de manera cartográfica en un mapa de susceptibilidad.

Movimientos en masas

También conocidos como fenómenos de remoción en masa, deslizamientos, derrumbes o falla de talud son procesos mediante los cuales un volumen de material conformado por suelo, rocas, escombros, o combinaciones de estos se desplazan a través de una ladera o talud por acciones gravitatorias, debido a la acción combinada de factores condicionantes y desencadenantes (CORCUENCAS, 2019).

Son parte de los procesos modeladores del relieve que se originan a partir de diversos procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la superficie terrestre y que constituyen un riesgo geológico a tenerse en cuenta en la planificación del territorio.

Entre los tipos de movimientos en masas más conocidos están la caída o desprendimiento, el volcamiento, el deslizamiento, la propagación, el flujo y la reptación. Todas las cuales podrían presentarse de manera compuesta, denominando un tipo de movimiento complejo (Varnes, 1978).

Factores condicionantes

Son aquellos que condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, mecanismos y modelos de rotura, dentro de lo que se encuentran las características intrínsecas relacionadas a las propiedades del material, su resistencia y a las características extrínsecas no relacionadas con él, tanto como la morfología de la ladera y sus condiciones ambientales (Santacana, 2001).

Factores desencadenantes

Se establece como factores externos a aquellos que actúan sobre el material y modifican sus condiciones iniciales, generando o desencadenando las roturas o movimientos debido a las variaciones que ejercen sobre el equilibrio del terreno, tales como la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las actividades antrópicas (Figura 2).

Factores causantes de los movimientos en masas				
	Factores condicionantes	Pendiente y geomorfología Geología Estructuras Tipo de coberturas	**Condiciones del terreno** Alta pendiente del terreno Materiales débiles o sensibles Presencia de fallas geológicas Falta de cobertura vegetal	
	Factores detonantes	Precipitación Vibraciones Erosión	**Procesos Naturales** Lluvias intensas Lluvias prolongadas Ocurrencia de sismos Erosión o degradación del suelo Erosión por acción del agua	
		Actividades antrópicas	**Procesos Artificiales** Cortes y excavaciones en las laderas Sobrecarga y rellenos en las laderas Modificación del drenaje natural Falta de drenaje urbano Actividad minera	

Figura 2. Factores causantes los Movimientos en Masa, Adaptado de IDIGER (2018).

Mapa de susceptibilidad

Es la representación de las zonas o lugares de un territorio que se encuentran o podrían encontrarse bajo la acción de un proceso o fenómeno específico, es decir, es una cartografía de procesos activos (Carrasco *et al.*, 2003).

Según Fidel *et al.* (2012), se debe considerar que los límites de susceptibilidad impuestos por el modelo o mapa son referenciales y no pueden tomarse como valores absolutos, ya que posterior a la confección de este, es posible la identificación de lugares que requieran una serie de estudios más detallados, los cuales son denominados como «áreas críticas».

METODOLOGÍA

La metodología aplicada durante el estudio consistió en tres fases, las cuales brindan el soporte a la aplicación del método Mora-Vahrson (1993) para la determinación del grado de susceptibilidad ante los movimientos en masas.

Durante una fase preliminar se realizó la recopilación de estudios previos, la obtención de datos espaciales referentes a relieve, geología, tipo de cobertura y precipitación, así como el diseño del mapa base con información topográfica del terreno sobre el cual se establecen las rutas óptimas para el levantamiento en campo y con que se identifican probables áreas susceptibles ante tal fenómeno.

Luego, durante la fase de campo se realizó un levantamiento geológico mediante el método de mapeo de contactos y afloramientos, que es usualmente utilizado a escalas detalladas, es decir, mayores a 1:20.000 (Echeveste, 2018) con el objetivo de determinar las formaciones geológicas del área de estudio. De manera paralela se efectuó un levantamiento geomecánico con el fin de determinar los parámetros del macizo rocoso según la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski (1989), el cual brinda ponderaciones numéricas elevadas a condiciones que representan mayor estabilidad dentro del talud estudiado.

Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy buena	100-81	> 4 kg/cm^2	> 45°
II	Buena	80-61	3 - 4 kg/cm^2	35° - 45°
III	Media	60-41	2 - 3 kg/cm^2	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 - 2 kg/cm^2	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 kg/cm^2	< 15°

Tabla 1. Clasificación geomecánica RMR de Bieniawski (1989).

Posteriormente, se procedió a la clasificación geomecánica de taludes, en la cual se realizó el cálculo de RMR por discontinuidad y un ajuste estructural mediante el uso de proyecciones estereográficas en el software DIPS 7.0, con el que se identificó si una determinada discontinuidad da soporte o reduce la calidad geomecánica de un macizo, para luego continuar con el cálculo y ponderación de RMR por estación, por talud y formación geológica, obteniendo valoraciones numéricas entre 0 a 100, a la cual se categoriza en cinco tipos de calidad, de Muy Mala a Muy Buena (Tabla 1).

Adicionalmente, se realizó un análisis estructural por tipo de rotura mediante las proyecciones estereográficas de los datos estructurales de las estaciones geomecánicas, con el objetivo de identificar los tipos de rotura o movimiento más probable a desarrollarse en los taludes de la zona (Figura 3).

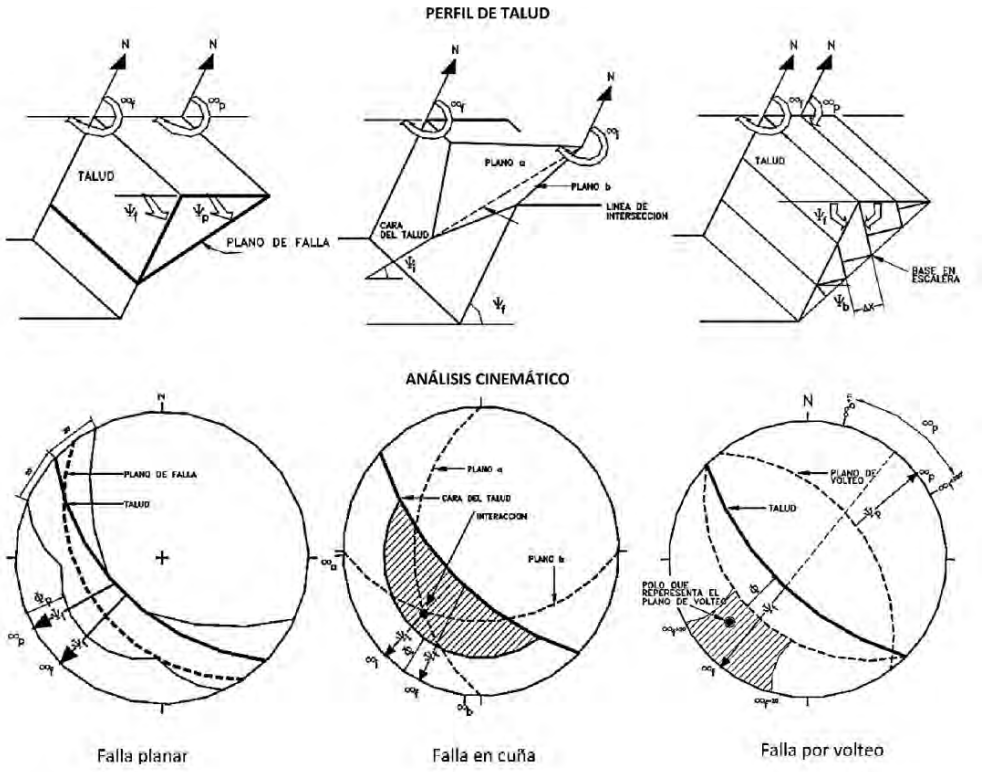


Figura 3. Tipos de rotura en taludes, Curipoma (2017).

Una vez obtenidos y procesados los datos de campo, se elaboró una serie de mapas temáticos mediante sistemas de información geográfica (SIG) en el software ArcGIS 10.5, obteniendo mapas de pendientes, de tipo de cobertura, de geología, de valoración geomecánica y de precipitación por lluvias, cuyos datos de tipo vectorial y ráster se utilizaron para el diseño del modelo de susceptibilidad a movimientos en masa, a través del análisis multicriterio aplicando una modificación de la fórmula de Mora-Vahrson (1993), a la cual se adicionó el factor geomecánico para dar mayor fundamento geológico al desarrollo de este tipo de fenómenos, y que clasifica al terreno en términos de Muy Baja a Muy Alta susceptibilidad (Tablas 2 a 6).

$$H = (S_m * S_c * S_l * S_g) * (T_p)$$

Donde sus variables son:

H = Grado de amenaza en la zona de estudio.

S_m = Factor morfométrico

S_c = Factor cobertura vegetal.

S_l = Factor litológico.

S_g = Factor geomecánico.

T_p = Factor de disparo por lluvias.

Rango (%)	Descripción	Valoración del parámetro S_m
0 – 12	Correspondiente a relieves completamente planos y ligeramente ondulados. Además de todas las áreas que no son suelo como: centros poblados, ríos dobles o similares a estas al representar o cartografiarlas.	1
12 – 25	Correspondiente a relieves medianamente ondulados a moderadamente disectados.	2
25 – 40	Corresponde principalmente a relieves mediana a fuertemente disectados.	3
40 – 70	Corresponde principalmente a relieves fuertemente disectados.	4
70 – 100	Corresponden principalmente a relieves muy fuertemente disectados.	5
100 – 150	Corresponden principalmente a relieves escarpados.	6
150 – 200	Corresponden principalmente a relieves muy escarpados.	7
> 200	Corresponden a zonas reconocidas como mayores a 200% en el mapa de pendientes.	8

Tabla 2. Categorización del factor morfométrico de pendiente, CLIRSEN & SIGAGRO, 2011.

Categoría	Descripción	Calificación	Valoración del parámetro S_c
Cuerpos de agua	Cuerpos de Agua: Áreas que presenten masas de agua, de origen artificial o natural	Cobertura exenta	0
Bosques Cultivos permanentes	Bosque: Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, con presencia de árboles de distintas especies nativas, edades y portes. Cultivos: Comprenden tierras dedicadas a cultivos con ciclo vegetativo mayor a tres años y ofrece varias cosechas	Alta cobertura	1
Infraestructuras	Establecimiento de un grupo de personas en un área determinada, incluyendo la infraestructura civil que lo complementa.	Mediana cobertura	2
Vegetación arbustiva. Vegetación herbácea. Cultivos semipermanentes. Cultivos anuales reforestación.	Vegetación arbustiva: Áreas con una componente substancial de especies leñosas sin estructura de bosque. Vegetación herbácea: Constituida por especies nativas con crecimiento espontáneo, sin cuidado espacial, con fines de pastoreo, vida silvestre o protección. Cultivos: Tierras dedicadas a cultivos agrícolas con ciclos estacionales de cosecha de uno o más veces al año o semipermanente con ciclos vegetativo de uno a tres años. Reforestación: Áreas con vegetación producto de reforestación de operaciones mineras.	Baja cobertura	3
Sin cobertura. Zonas erosionadas. Procesos de erosión.	Áreas con poca o ninguna cobertura vegetal. Incluye desiertos, gravas, afloramientos rocosos y áreas erosionadas por procesos naturales o antrópicos.	Sin cobertura	4

Tabla 3. Categorización del factor cobertura vegetal, adaptado de CLIRSEN & SIGAGRO (2011).

Litologías	Símbolo	Valoración del parámetro S_l
Aluviones: gruesos, permeable, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeables. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.	E_{Se}	1
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático o profundidades intermedias.	K_{Cy}	2
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	KPc_{Gy}	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros	-	4
Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, incluidas categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados	Q_a	5

Tabla 4. Categorización del factor litológico, de Mora & Vahrson, 1993.

Valoración RMR Bieniawski (1989)	Calificación	Valoración del parámetro S_g
100 – 81	Muy buena	1
80 – 61	Buena	2
60 – 41	Media	3
40 – 21	Mala	4
< 20	Muy mala	5

Tabla 5. Categorización del factor geomecánico (Elaboración propia).

Precipitaciones medias mensual anual (mm)	Calificación	Valoración del parámetro T_p
< 20	Muy bajo	0
20 – 50	Bajo	1
50 – 70	Mediano	2
> 70	Alto	3

Tabla 6. Categorización del disparo por lluvias, de CLIRSEN & SIGAGRO, 2011.

RESULTADOS

Levantamiento geológico

Fm. Cayo (Kcy) [Coniciano – Campaniano]: Se ubica entre el Km 28.5 al Km 31 de la Vía Perimetral considera a los taludes 01, 02, 03, 04, 05 y 10 que se encuentran en el Conector Ceibos/ESPOL y la Vía Perimetral desde 800 m al sur de la estación de buses de la ESPOL hasta 700 m al norte de la estación de la urbanización Ceibos del Norte, los cuales tienen taludes de hasta 15 m de altura y presentan una alteración moderada a muy alta a través de las tonalidades grises y café oscuro producto de la meteorización sobre el talud, que también presenta capas de suelo de hasta 2 m con una amplia cobertura vegetal.

Las litologías comprenden areniscas de grano medio con tonalidades verde grisáceas en la que se observan feldespato, cuarzos y fragmentos líticos y que conforman capas de entre 30 cm a 3 m, areniscas de grano fino en capas de 60 a 90 cm de espesor y que localmente tienen meteorización esferoidal (Talud #04 y #05), lutitas silíceas masivas de colores grises y café en capas de hasta 20 cm y que presentan nódulos grisáceos, lutitas laminares dispuestas en espesores de hasta 10 cm en forma intercalada y arcillolitas de tonalidades café en capas de 30 a 50 cm de espesor, que en conjunto tienen una orientación de estratificación 195°/13°.

Es posible el constatar una serie de zonas donde se efectúan roturas de tipo cuña, en el que el material desprendido del macizo se desliza con respecto a los planos de discontinuidad de las familias de diaclasas J1 y J2, y posteriormente se sitúan hacia el exterior del talud, depositándose en la cuneta de la Vía Perimetral (Figura 4).

Figura 4. Rotura en cuña y material desprendido de Talud #10 (EGM02) (Elaboración propia).

Fm. Guayaquil (KPcgy) [Maastrichtiano - Paleoceno Tardío]: Ocurren en los taludes 06, 07 y 09, ubicados en el sector central de la Vía Perimetral, entre el km 31.5 y 32.7, a 800 y 1800 m en dirección norte desde la estación de buses interprovinciales; taludes que tienen una altura superior a los 15 m y presentan una alteración moderada a muy alta visible a través de las tonalidades grises y marrones que toman las capas debido a la acción de la meteorización.

Sus litologías están conformadas por arcillolitas de tonalidad gris a café en capas de entre 10 a 15 cm de espesor, lutitas masivas de tonalidad café a verdosas en capas de hasta 20 cm, laminaciones de lutitas físiles con tonalidades marrón de hasta 10 cm de espesor y areniscas de grano fino en capas de entre 50 cm hasta 2 m, que en conjunto tienen una orientación de estratificación principal de 190°/14°.

La estabilidad de los taludes de esta formación es baja, lo cual se constata mediante la observación de las fuertes orientaciones e interacciones estructurales de sus discontinuidades, la presencia de bloques colgantes de considerable tamaño (más de 50 cm), además del desprendimiento de material proveniente del talud, conformado por detritos, rocas y suelo debido a la acción erosiva de la precipitación de la actual estación lluviosa (Figura 5).

Figura 5. Desprendimiento de material rocoso en Talud 07 (EGM03-05) (Elaboración propia).

Fm. San Eduardo (Ese) [Paleoceno Tardío – Eoceno Temprano]: Comprendida entre el Km 33 de Vía Perimetral hasta Vía a la Costa, presenta los taludes 08, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 ubicados en sectores de la Vía Perimetral, el Panteón Metropolitano y canteras de Vía a la Costa, los cuales presentan una alteración ligera a moderada visible en las tonalidades grisáceas a ocres que tienen debido a la acción de la meteorización, siendo una parte por acción biológica dada por el crecimiento de árboles sobre la capa vegetal ubicada en la cima de los taludes y a través del plano de estratificación de las capas, cuya orientación estructural es de 210°/21°, las cuales están conformadas por variaciones de calizas blancas a azul grisáceas de entre 5 a 15 cm de espesor que presentan nódulos de sílice en su interior que de manera ocasional se disponen en capas de hasta 10 cm, con finas intercalaciones de lutitas calcáreas de hasta 5 cm (Figura 6).

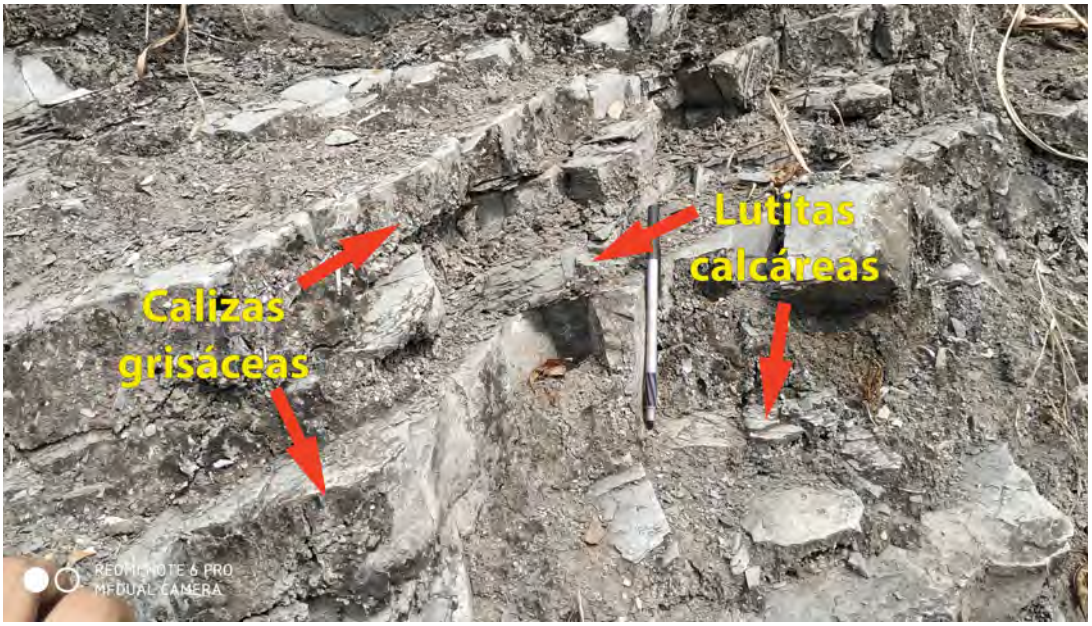


Figura 6. Afloramiento del Talud #14 (EGM02) cuyas litologías son calizas y lutitas calcáreas (Elaboración propia).

Depósitos aluviales – coluviales (Qa-c) [Cuaternario]: Comprenden los depósitos de origen mayormente aluvial que se observan en los canales de Vía a la Costa, cuyo material consta de arenas, arcillas y con conglomerados depositados a modo de terrazas aluviales que presentan una resistencia muy baja y tienen una alta cobertura vegetal. Se pueden observar dos niveles en las terrazas aluviales, las cuales presentan similar composición, pero difieren en sus características físicas, presentando formas angulares en el primer nivel y formas sub redondeadas en el segundo nivel (Figura 7).

Figura 7. Terrazas aluviales constituidas por arenas y arcillas en canal de Urbanización Bosque Azul (Elaboración propia).

Posterior al levantamiento se realizó una tabla donde se describen las formaciones geológicas acorde a sus litologías (Tabla 7).

Formación geológica	Símbolo	Descripción litológica
Formación San Eduardo	E_{Se}	Calizas blancas a azul grisáceas, nódulos de sílice
Formación Guayaquil	KPc_{Gy}	Arcillolitas grises a café, lutitas masivas verdosas, lutitas fisiles marrón, areniscas de grano fino
Formación Cayo	K_{Cy}	Areniscas verdosas de grano medio, areniscas café grano fino, lutitas silíceas masivas, lutitas laminares, arcillolitas café
Depósitos Cuaternarios	Q_a	Arenas, arcillas y conglomerados.

Tabla 7. Litologías por formación geológica del área de estudio (Elaboración propia).

Levantamiento geomecánico

Se realizaron un total de 35 estaciones geomecánicas distribuidas en los 17 afloramientos y taludes presentes en el sector, los cuales clasifican a los macizos rocosos en dependencia de su litología y estructuras particulares.

Por ejemplo, en el Talud 02 correspondiente a la Fm. Cayo, se observan litologías de areniscas de grano grueso con tonalidad gris verdosas, cuyo talud presenta 3 m de altura con longitud de 70 m, donde se distribuyen 4 estaciones geomecánicas (Figura 8).

Entre los parámetros levantados se tuvo la resistencia medida por golpes mediante el martillo de Schmidt, lo que arroja un resultado de Muy Dura (100-250 Mpa) con valoración de 15. Índice de RQD medido con cinta métrica de manera vertical, horizontal y diagonal en la superficie del talud en cuatro perfiles, lo que arroja un promedio de 94.5 %, con valoración de 20. El espaciado se mantiene, como separado en cuanto a las diaclasas (60-200 cm), mientras que el plano de estratificación tiene un espaciado moderadamente junto (20-60 cm), obteniendo valoraciones de 15 y 10.

En cuanto a su apertura, en su mayoría son inexistentes, pero de manera puntual se evidencian aperturas cerradas a muy cerradas entre las diaclasas J1 y J2, por lo cual, sus valoraciones van de 6 a 3. Su persistencia va entre media en las diaclasas a alta en la estratificación, obteniendo valoraciones de 2 a 1. La superficie de las discontinuidades es rugosa, con valoración 5. No presentan relleno, su valoración es de 6. No presenta agua o humedad entre sus estructuras, su valoración es 12 y su alteración es moderada por las tonalidades café, producto de la meteorización en las partes superiores del

Figura 8. Talud 2, Estación T02_EGM01. Se observan 3 familias de diaclasas (J1, J2 y J3) y el plano de estratificación (E1)
(Elaboración propia).

talud, por ende, su valoración es 3. La suma de valoraciones para cada discontinuidad dará resultados entre 74 a 88 que, tras su respectivo ajuste estructural que determina que la J3 disminuye la calidad geomecánica del macizo, se obtendrá una valoración de 54.56 para este talud, lo que significa una calidad de tipo media.

Luego, los resultados obtenidos de cada talud se promedian para obtener una clasificación geomecánica para cada formación del área de estudio (Tabla 8).

Tabla 8. Valoración RMR resultante por talud y formación geológica.

Valoración RMR resultante por talud					
Formación Geológica	Talud	Valoración RMR	Descripción EGM	Valoración RMR por Fm.	Descripción Geomecánica por Fm.
Fm. Cayo	Talud 01	38.5	Mala	44.51	Media
	Talud 02	54.56	Media		
	Talud 03	41.93	Media		
	Talud 04	47.67	Media		
	Talud 05	48.53	Media		
	Talud 10	35.84	Mala		
Fm. Guayaquil	Talud 06	32.17	Mala	37.82	Mala
	Talud 07	41.07	Media		
	Talud 09	40.21	Mala		
Fm. San Eduardo	Talud 08	48	Media	46.60	Media
	Talud 11	61	Buena		
	Talud 12	44.12	Media		
	Talud 13	39	Mala		
	Talud 14	46	Media		
	Talud 15	38	Mala		
	Talud 16	53.67	Media		
	Talud 17	43	Media		

Análisis estructural por tipo de rotura

Mediante los datos estructurales de cada discontinuidad presente en los taludes del área de estudio, se realizan los gráficos de proyecciones estereográficas en el software DIPS 7.0, en el cual se representan dichos datos a través de polos, que se agrupan como familias de discontinuidades y permiten analizar la probabilidad a que se efectúe un tipo de rotura en caso de que toda o parte de una familia se encuentre en una zona crítica, la cual está remarcada en tonalidad rojiza y es diferente para cada clase de gráfico de rotura.

Por ejemplo, en el Talud 07, que pertenece a la Fm. Guayaquil, se observan tres familias de discontinuidades, las que en el primer gráfico correspondiente al tipo de rotura planar, se visualiza que parte de la discontinuidad J1 se encuentra dentro de la zona crítica, donde de un total de 70 polos, 17 se encuentran en la zona crítica, obteniendo una probabilidad de 24.29 % a que se efectúe una rotura de tipo planar (Figura 9a).

En el gráfico correspondiente al tipo de rotura en cuña, se observa que 835 interacciones de un total de 2397 se encuentran en la zona crítica, lo que propicia en un 34.84 % la posibilidad a este tipo de rotura, y que está fundamentado por la interacción que existe entre los planos de discontinuidades J1 y J2 dentro del talud (Figura 9b).

Posteriormente, en el gráfico de rotura por volcamiento, se observa que ningún polo de las discontinuidades recae en la zona crítica, por lo tanto, la probabilidad de que exista un volcamiento en el talud es de un 0 % (Figura 9c).

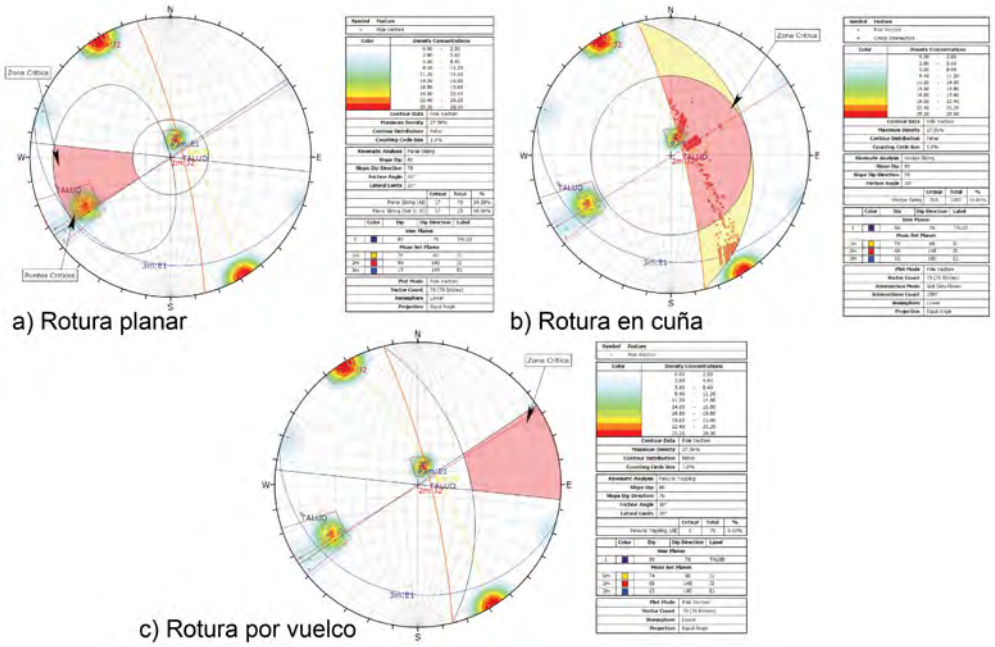


Figura 9. Gráficos de a) rotura planar, b) en cuña y c) por vuelco del Talud 07 (Elaboración propia).

Luego de calculados la probabilidad a los tres tipos de rotura, se genera una tabla que agrupa sus porcentajes por talud y por formación geológica, en la que se visualiza que el tipo de movimiento más probable a efectuarse será de rotura en cuña, con mayor probabilidad a darse en los afloramientos de la Fm. San Eduardo lo cual es debido a que su desarrollo es más probable en rocas de alta resistencia y asociadas a actividades mineras como las ejecutadas en las canteras en Vía a la Costa (Tabla 9).

RESULTADOS DE ANÁLISIS CINEMÁTICO DE TALUDES			
TALUD	PROBABILIDAD A LA ROTURA		
	ROTURA PLANAR (en %)	ROTURA EN CUÑA (en %)	ROTURA POR VUELCO (en %)
Fm. Cayo			
Talud 01	0	0	0
Talud 02	0	3.60	0
Talud 03	5.88	26.44	0
Talud 04	21.43	30.77	0
Talud 05	15.15	31.25	0
Talud 10	0	1.33	0
Fm. Guayaquil			
Talud 06	0	3.99	0
Talud 07	24.29	34.84	0
Talud 09	0	15.21	0
Fm. San Eduardo			
Talud 08	0	22.50	0
Talud 11	0	1.68	0
Talud 12	15.63	73.94	0
Talud 13	25	69.17	0
Talud 14	0	1.41	0
Talud 15	7.14	49.45	0
Talud 16	0	49.45	0
Talud 17	35.71	50.56	0
RESULTADOS POR FORMACIÓN GEOLÓGICA			
FORMACIÓN	ROTURA PLANAR (en %)	ROTURA EN CUÑA (en %)	ROTURA POR VUELCO (en %)
Fm. Cayo	7.07	15.55	0
Fm. Guayaquil	8.09	18.01	0
Fm. San Eduardo	10.43	39.77	0

Tabla 9. Resultados de análisis estructural por tipo de rotura en taludes y por formación geológica.

Modelo de susceptibilidad

Mapa de pendientes: Representa el relieve de la zona en términos de pendiente, donde más de 70% (40°) indica una mayor propensión al desarrollo de movimientos en masa, el cual se focaliza en la zona central del área de estudio (Figura 10).

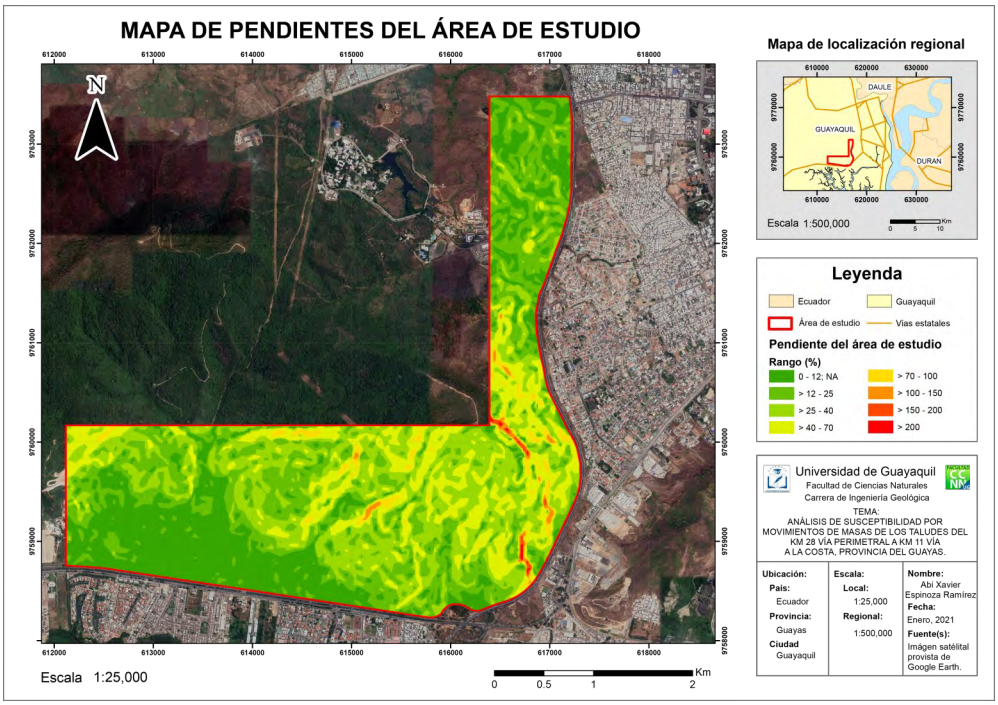


Figura 10. Mapa de pendientes del área de estudio (Elaboración propia).

Mapa de coberturas: Representa las coberturas o tipos de uso de suelo en el terreno y su relación al desarrollo de movimientos en masas, el cual es proporcional a la estabilidad que brinda cada clase de cobertura vegetal o sostenimiento civil de infraestructura antrópica, siendo más probable su focalización en sectores con terrenos designados a actividades extractivas y sin cobertura (Figura 11).

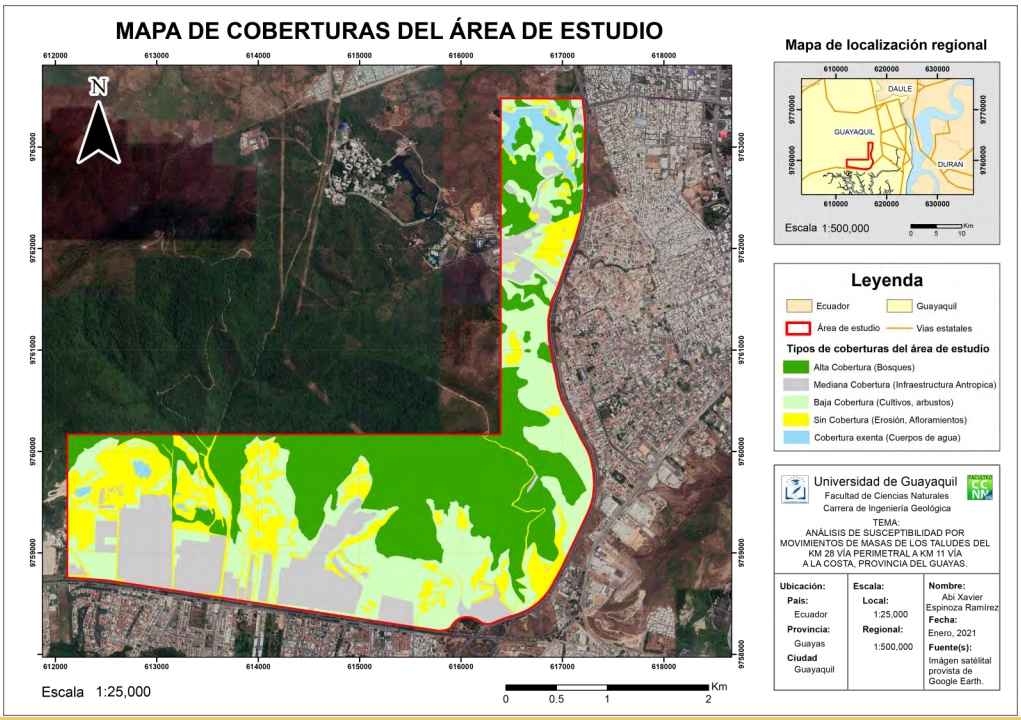


Figura 11. Mapa de coberturas del área de estudio (Elaboración propia).

Mapa geológico: Muestra la disposición de las tres formaciones geológicas y los depósitos cuaternarios en el área de estudio, cuyos contactos aparentes se establecen mediante la información litológica - estructural levantada en campo, y criterio geológico de acuerdo con el relieve que representa el terreno (Figura 12).

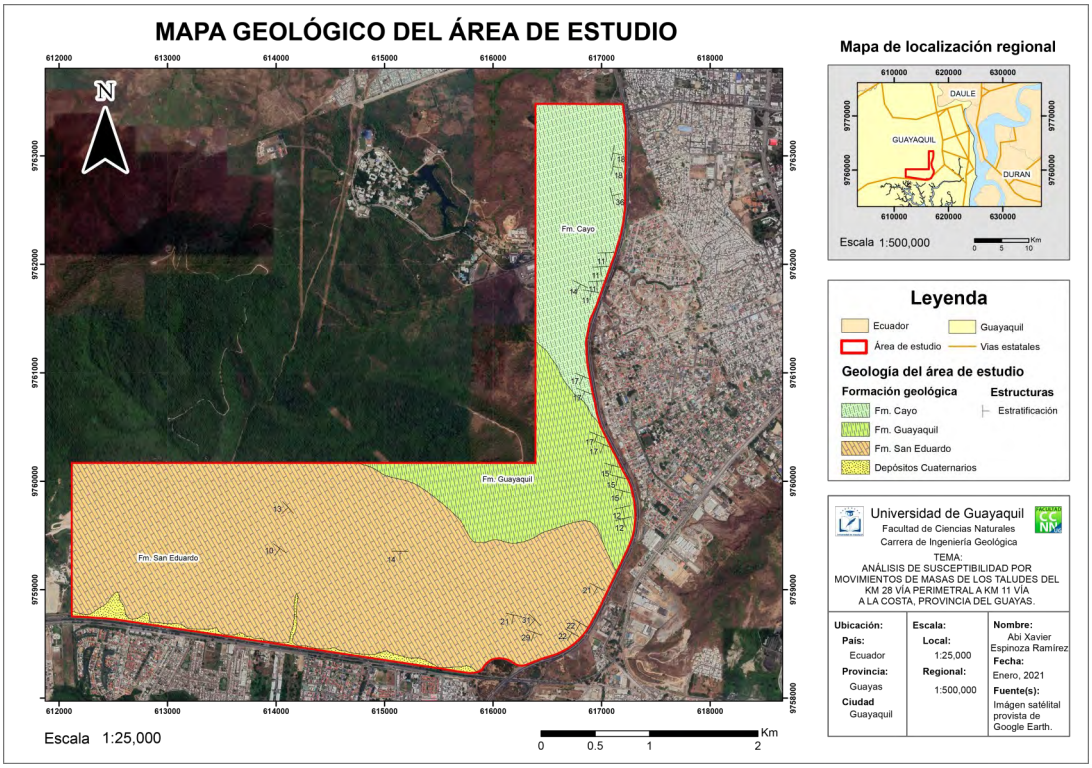


Figura 12. Mapa geológico del área de estudio (Elaboración propia).

Mapa geomecánico: Designa las valoraciones de estabilidad obtenidas de las 37 estaciones geomecánicas levantadas en campo, las cuales al ser agrupadas en dependencia de su geología se logra la obtención del valor RMR promedio de cada formación geológica presente en la zona (Figura 13).

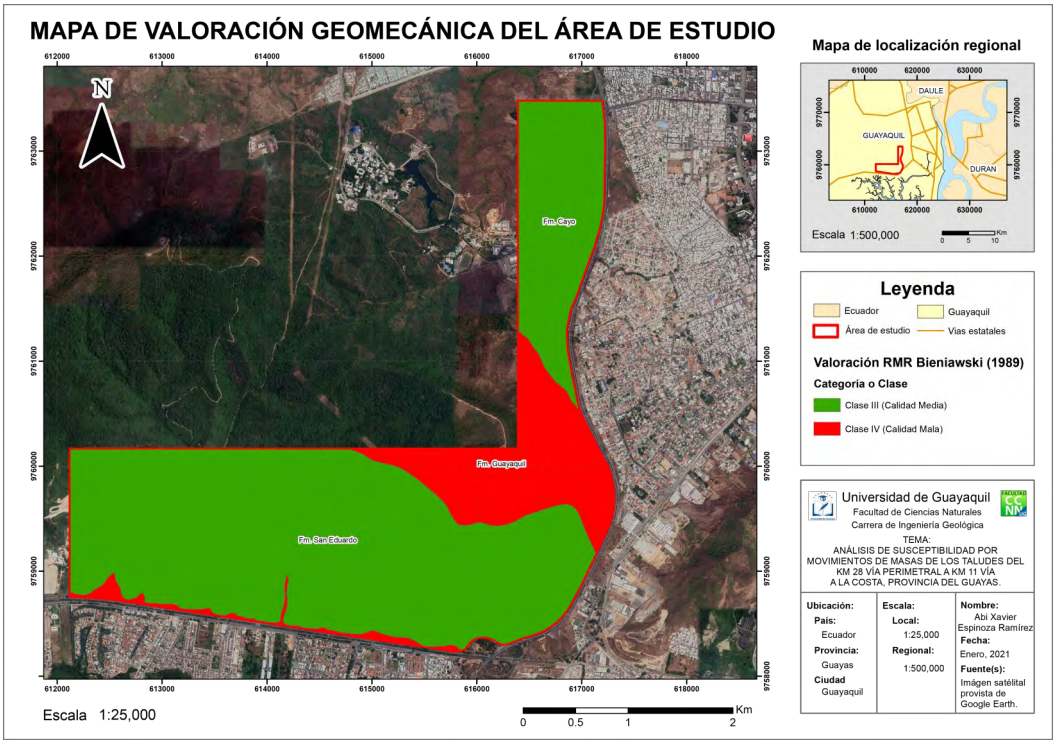


Figura 13. Mapa de valoración geomecánica del área de estudio (Elaboración propia).

Mapa de precipitaciones: Determinado mediante isoyetas de precipitación de las estaciones convencionales del cantón Guayaquil durante el período 1981 - 2010, el cual indica entre 45 y 109 mm/mes como rango de precipitaciones y con una precipitación alta de más de 70 mm/mes en la zona de estudio (Figura 14).

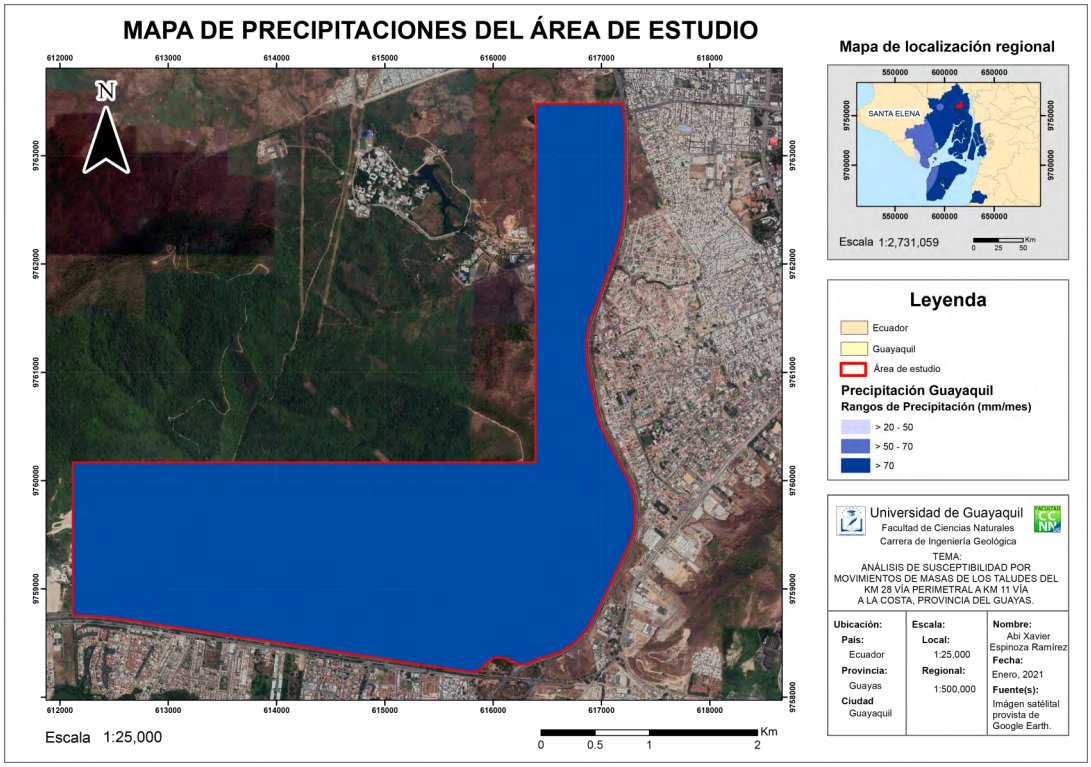


Figura 14. Mapa de precipitaciones del área de estudio (Elaboración propia).

Mapa de susceptibilidad a movimientos en masas: El mapa de susceptibilidad, diseñado en base a la fórmula modificada del método Mora-Vahrson, clasifica al terreno en cinco categorías: Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta. En la zona de estudio, se visualiza que la categoría que mayor área cubre es la de susceptibilidad Alta con 33.8 %, seguida por la de susceptibilidad Muy Baja con un 30.4 %, susceptibilidad Media con 16 %, susceptibilidad Baja con 14.6 % y finalmente susceptibilidad Muy Alta con un 5.2 % (Figura 15).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El área de estudio comprendida entre el Km 28 de la Vía Perimetral al Km 11 de la Vía a la Costa es una zona que presenta susceptibilidades a los movimientos en masa de rangos Muy Bajos a Muy Altos, comprobado mediante la inspección realizada en campo tras la acción de intensas lluvias sobre el material del talud durante la temporada invernal, donde se observaban desprendimientos de rocas, suelos y detritos, así como su depósito en las cunetas de la Vía Perimetral, además de superficies en el talud donde se han efectuado roturas planares y cuneiformes como parte de los movimientos en masa estudiados.

Zonas clasificadas con Alta y Muy Alta susceptibilidad se presentan en su mayoría en Fm. Guayaquil, donde aun teniendo altas coberturas de bosques y vegetación arbustivas, sus pendientes medias a altas con litologías correspondientes a areniscas y lutitas muy alteradas y de mala valoración geomecánica representan los factores condicionantes decisivos en el desarrollo de movimientos de masas.

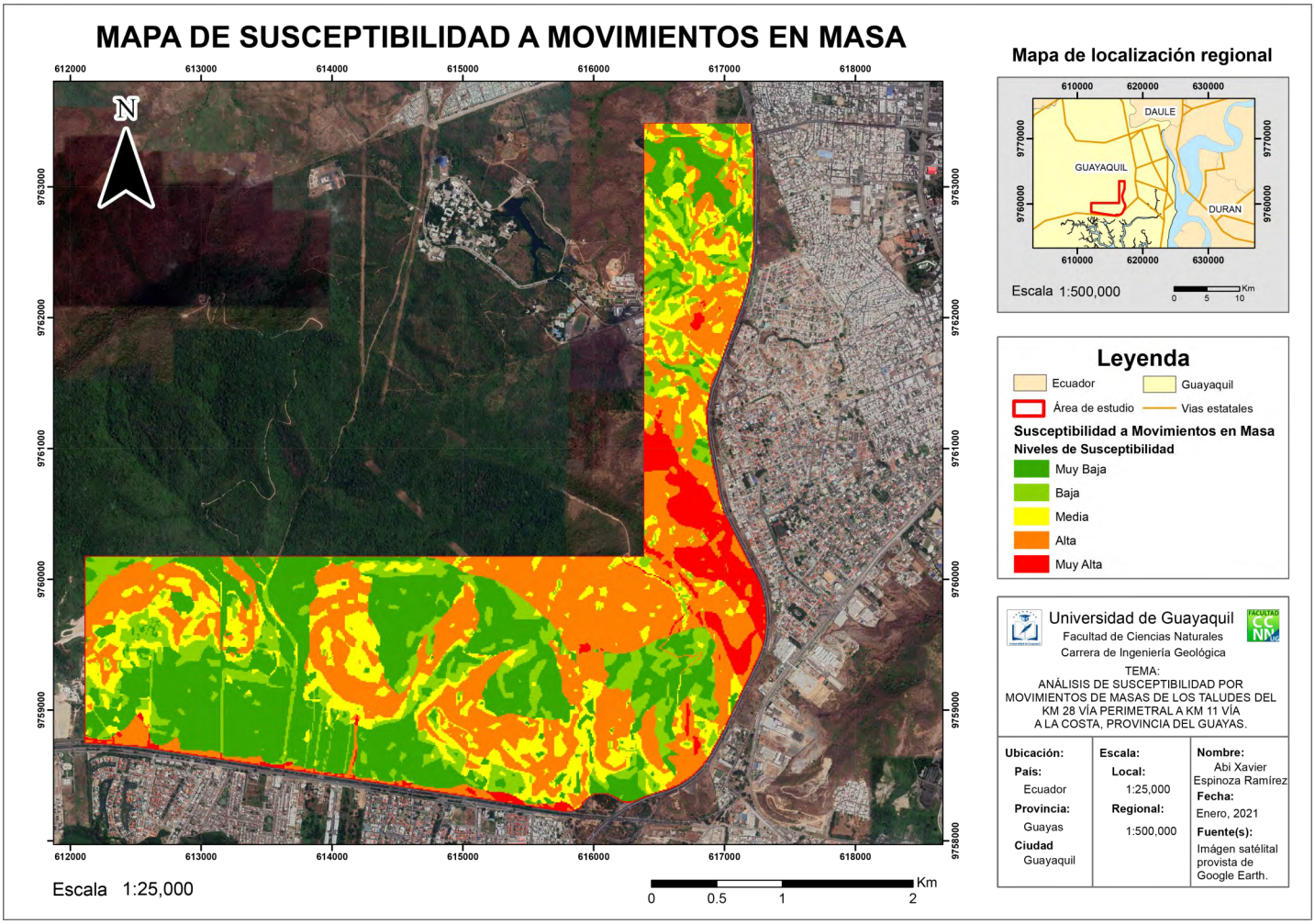


Figura 15. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masas del terreno (Elaboración propia).

Corresponden también a zonas de Alta y Muy Alta susceptibilidad los lugares que presentan taludes expuestos de gran potencia y las canteras de extracción de material pétreo, donde las exposiciones de suelo sin cobertura y bajas coberturas arbustivas o reforestadas con pendientes medias a altas representan áreas susceptibles, a pesar de las características litológicas estables y valoración geomecánica media del macizo rocoso de las Fm. Cayo y San Eduardo.

En cuanto a las zonas de Media a Muy Baja susceptibilidad se engloba a las urbanizaciones de Vía a la Costa, Panteón Metropolitano y bosques ubicados en los alrededores del campus Prosperina de la ESPOL, donde las características geológicas y geomecánicas, en conjunto con las pendientes bajas a medias con altas y medianas coberturas, suponen zonas estables donde el desarrollo del fenómeno estudiado es menos probable, exceptuando a la urbanización Bosques de la Costa, que se encuentra en los alrededores de una zona de alta susceptibilidad.

CONCLUSIONES

- Se caracterizaron los afloramientos y taludes del área de estudio mediante el método geomecánico RMR de Bieniawski (1989), dando como resultado que los taludes de Fm. Cayo y Fm. San Eduardo presentan una valoración media de 44.51 y 46.60, respectivamente, que clasifican sus calidades como tipo III, mientras que los afloramientos Fm. Guayaquil tienen una valoración de 37.82 que clasifica como calidad tipo IV.

- El análisis cinemático de taludes, realizado con los datos estructurales tomados del levantamiento geomecánico, revela que el movimiento más probable a desarrollarse en la zona de estudio es de tipo cuneiforme, los cuales se dan de manera más frecuente en afloramientos de la Fm. San Eduardo (39.77 %), pero no son descartables en los taludes de Fm. Cayo (15.55 %) y Fm. Guayaquil (18.01 %), mientras que el tipo deslizamiento planar se da en menores proporciones en las tres formaciones (aproximadamente, 7 % - 10 %), lo que es comprobado en labores de campo.

- Según el análisis cinemático, es descartable el tipo de movimiento en masa denominado como «volcamiento», debido a que su probabilidad de desarrollo se mantiene en 0 % en todos los taludes estudiados.

- El mapa de susceptibilidad a movimientos en masas clasifica al área de estudio en cinco categorías que van desde «Muy Baja» a «Muy Alta susceptibilidad», donde la categoría de susceptibilidad Alta predomina en un 33.8 % del lugar, seguida por zonas con susceptibilidad Muy Baja con un 30.4 %, susceptibilidad Media con 16 %, susceptibilidad Baja con 14.6 % y finalmente susceptibilidad Muy Alta con un 5.2 %.

- Se establecen como áreas críticas a los lugares que presentan susceptibilidad Alta a Muy Alta a los movimientos en masas, tales como las canteras ubicadas en el Km 29.6 y 33 de la Vía Perimetral y las del Km 10 -11 de Vía a la Costa, además de donde se sitúa la Fm. Guayaquil comprendida entre los taludes del Km 31.5 a 32.7 de la Vía Perimetral, que en conjunto representan un riesgo a las actividades económicas y sociales que allí se desarrollan, derivados del transporte vehicular de la zona y la extracción de material pétreo de las canteras.

- Infraestructuras antrópicas como la ciudadela Bosques de La Costa, el panteón Metropolitano, Bosques de los Ceibos, el colegio Cruz del Sur, y edificaciones de la universidad ESPOL, a pesar de ser clasificadas como zonas de susceptibilidad Baja a Media, no se encuentran exentas de riesgo debido a su cercanía a taludes de gran magnitud y áreas mineras que presentan susceptibilidad Alta a Muy Alta, lo cual es un riesgo al bienestar de la comunidad que allí labora y reside.

Agradecimientos especiales a mi familia y a mi novia por su apoyo constante durante mi carrera; a mi hermana por incentivarme en la investigación de la geología y sus campos de aplicación, a mis compañeros que me brindaron su mano amiga; a mi *alma mater* por permitirme adquirir los conocimientos base sobre la carrera; a mis profesores por impartir sus saberes; a mi tutor César Fuentes y a mi revisora Tania Guevara, por sus consejos y opiniones en cuanto a la resolución de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Ayala-Carcedo, F., & J. Olcina (2002). Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación. Barcelona, Ariel S.A.

Carrasco, R., J. Pedraza, J. Martin-Duque, M. Mattera, M. Sanz, J. Bodoque, & A. Diez-Herrero (2003). Cartografía de zonas de susceptibilidad o propensión a los movimientos en masa en el Valle del Jerte (Sistema Central Español). Madrid.

Castro, V. (2020). Evaluación de susceptibilidad por movimiento de masas en el Cerro del Carmen de la ciudad de Guayaquil. Guayaquil.

CLIRSEN & SIGAGRO. (2011). Análisis de amenaza por tipo de movimiento en masa del cantón Guayaquil. Guayaquil.

CORCUENCAS (2019). Formulación POMCA, Río Luisa y Otros Directos al Magdalena, Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica: Amenazas y Susceptibilidad. Colombia.

Curipoma, A. (2017). Análisis comparativo de las metodologías de cálculo de estabilidad de taludes. Loja, Perú.

Echeveste, H. (2018). Manual de Levantamiento geológico, Una introducción a la geología de campo. La Plata, Argentina: Universidad de La Plata.

Fidel, L., S. Villacorta, & B. Zavala (2012). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. Perú: Revista de la Asociación Geológica Argentina.

GeoEstudios & Consulsua. (2012). Estudios de Prefactibilidad, Factibilidad y de Diseño del Canal Actual y Alterno de Acceso a los Muelles de la Terminal Marítima Simón Bolívar, para Determinar el Dragado a la Profundidad de 11m. con respecto al MLWS. Guayaquil, Ecuador.

I Care Environment. (2018). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en Guayaquil. Caracas, Venezuela. Obtenido de http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1276

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER, 2018). Riesgo por Movimientos en Masa, Caracterización General del Escenario de Riesgo por Movimientos en Masa en Bogotá. Bogotá, Colombia. Obtenido de https://www.idiger.gov.co/rmovmasa

Mora, S., & W. Vahrson (1993). Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard. Tokyo, Japón.

Proyecto Multinacional Andino. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de Amenazas.

Ramírez, P., & L. Alejano (2008). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Vigo, España.

Santacana, N. (2001). Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Catalunya, España: Universitat Politècnica de Catalunya.

Varnes, D. (1978). Slope movement types and processes. Washington D.C., Estados Unidos.

Abi Xavier Espinoza Ramírez

Ingeniero Geólogo de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Síntesis de su trabajo de titulación presentado en marzo de 2021.

Se sugiere citar:
Espinoza, A. (2022). Análisis de susceptibilidad por movimientos en masas de los taludes del Km 28 Vía Perimetral a Km 11 Vía a la Costa, Guayaquil (Ecuador). *Revista Cartógrafo.CL 3*(1), pp. 5-27.

Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.

Cartógrafo.CL/03-2022

Del escandallo al satélite:

Una historia mal contada sobre la Hidrografía

Alejandro Geronés (*)

(*) Master en Educación

Cuba

RESUMEN

Este artículo trata de cubrir en unas pocas páginas, sucesos y descubrimientos científicos que han contribuido al desarrollo de la hidrografía como actividad esencial para la navegación en nuestros mares hoy.

También se hace un análisis resumido de la ciencia y la tecnología utilizada en los levantamientos hidrográficos, su evolución y aplicaciones en otras áreas económicas, más allá de la navegación.

alejandro.gerones@iictechnologies.com

INTRODUCCIÓN

Para aquellos que hemos crecido junto al mar, ver buques y embarcaciones de todo tipo se convierte en algo tan cotidiano que con frecuencia ni nos damos cuenta de que están ahí. Lo que una gran parte de las personas que habitan ciudades portuarias ignora es que para que esos buques lleguen a su destino, debe entrelazarse todo un universo de ciencia moderna y conocimientos tan antiguos como el propio ser humano. Un gran porcentaje del comercio de cualquier nación se realiza a través del mar y para que esto ocurra, hay un ejército de especialistas asegurando que la travesía de esos buques sea más segura a través del uso de datos exactos de navegación.

En este artículo estaremos cubriendo algunos de estos temas.

UN POCO DE HISTORIA

Figura 1. Serpiente marina devora un buque frente a las costas de Noruega. Detalle de la carta marina de Olaus Magnus, 1539.

La historia de la navegación está estrechamente ligada a la propia historia del mundo. Lo océanos siempre han cautivado a los seres humanos, no solo por el interés que despertaba saber qué había más allá del horizonte visible, sino también qué había debajo de aquellas oscuridades tenebrosas del Mare Magnun. Basta observar las ilustraciones del cartógrafo sueco Olaus Magnus, creadas en el siglo XVI, para entender el tipo de fascinación que siempre hemos tenido por el océano.

Las primeras cartas de navegación, que hoy consideramos verdaderas obras de arte, cumplían una función muy básica que hasta hoy persiste: mostrar al marino la vía para llegar de un punto al otro sin naufragar. Los datos contenidos en estas cartas se compilaban fundamentalmente sobre la base de observaciones visuales y mediciones astrales muy imprecisas. Los marinos experimentados que transitaban las mismas rutas con frecuencia eran capaces de navegar solo siguiendo los astros y memorizando zonas peligrosas de rocas cercanas a la costa. Es difícil determinar cuán frecuentes eran los naufragios, pero considerando las prácticas de navegación y la poca data con que se navegaba, podemos asumir que los accidentes marítimos eran muy comunes muy comunes en el mundo antiguo. Estos accidentes, al igual que los de hoy, provocaban la pérdida de vidas y riquezas.

Sin duda fue una roca o un arrecife poco profundos, la causa principal de que los marinos comenzaran a medir las profundidades en la ruta, de conjunto con la observación de peligros emergentes debido a los cambios en los niveles del mar. Cuando las condiciones de iluminación y meteorológicas lo permitían, los estimados de profundidad se hacían a ojo en aguas poco profundas. Para los casos en que era imposible determinar dónde estaba el fondo, los marinos diseñaron una herramienta que por su simpleza ha permanecido en uso y con muy pocos cambios en su diseño durante miles de años: ¡Que entre la sondaleza!

También conocida como plomada, escandallo y otras denominaciones en dependencia de la región geográfica, la sondaleza no es más que una cuerda o cabo utilizado para medir profundidades. La herramienta está compuesta por un peso, atado a una cuerda con marcas a tramos medidos. En algunas instancias, el peso era cóncavo o con una cavidad en el centro. Esto posibilitaba «armar la plomada» con alguna sustancia pegajosa como alquitrán o grasa animal que permitía obtener muestras del fondo para determinar sus características y el tipo de riesgos que representaba.

Es difícil determinar quién o cuándo se inventó este instrumento, lo cual es evidencia no solo de su sencillez si no también de su antigüedad. Las primeras documentaciones sobre la sondaleza datan del siglo V a. de C. y su uso persiste incluso hasta los días de hoy. Con toda probabilidad, las mediciones efectuadas se hacían con el objetivo de evitar encallamientos y naufragios, más que con un propósito cartográfico.

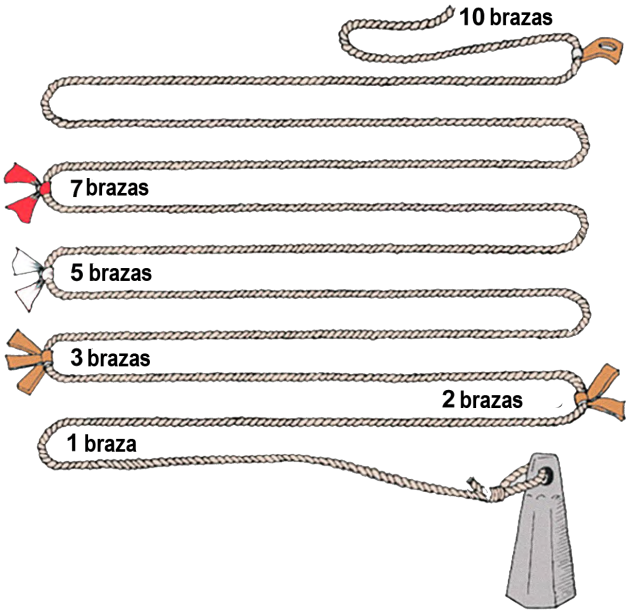


Figura 2. Sondaleza con marcas en brazas.

En la medida en que la humanidad se fue desarrollando, el uso de la sondaleza se expandió al objetivo de cartografiar las costas y mares. Como podremos imaginar, para compilar datos de profundidad, los marinos y científicos debían efectuar miles de mediciones desde sus embarcaciones y hacer todas las anotaciones a mano, en una bitácora. Lo impreciso del método no le resta valor y constituyó un gran paso de avance cuando se compara con la navegación «a ciegas» de los antiguos marinos.

Figura 3. Sondando en las vastas profundidades de las costas noruegas. Detalle de la ilustración de Olaus Magnus.

Desde finales del siglo XVIII, varias instituciones europeas, aunque, fundamentalmente, la Real Armada de Gran Bretaña, intentaron desarrollar alternativas al uso de la sondaleza que aceleraran más la tarea de medir las profundidades, pero sobre todo que la hicieran más precisa.

Unos de los dispositivos más adoptados en las flotas europeas de la época fue la máquina de sondajes desarrollada en 1802 por Edward Massey, un relojero inglés oriundo de Staffordshire. Este instrumento utilizaba la cuerda y la plomada a través de un rotor mecánico que hacía girar unos diales con marcas de profundidad. Cuando la plomada tocaba fondo, el dispositivo fijaba la aguja indicando la profundidad medida.

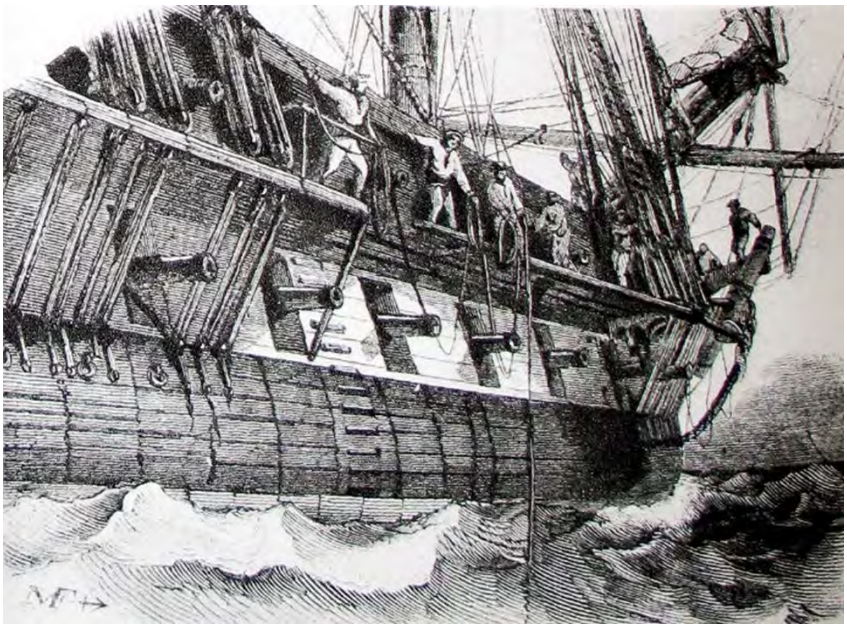


Figura 4. Marinos sondando en un buque de guerra.

Otra variante, diferente del artefacto de Masey, creada por Peter Burt, otro inventor británico, fue denominado «máquina de sondajes con boya y rodillo». Este aparato también se basaba en el uso de la cuerda y la plomada para hacer las lecturas de profundidad. Con el uso de la boya, el artefacto podía ser arrastrado detrás del buque a la vez que se garantizaba el descenso perpendicular del escandallo.

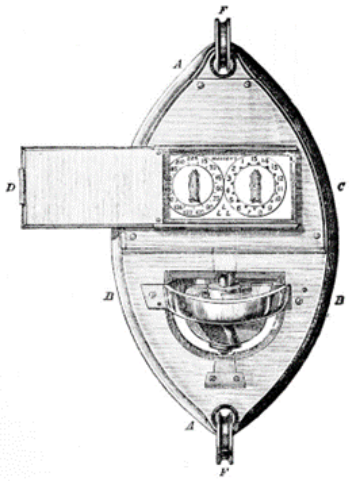


Figura 5. Diagrama de la máquina de sondajes de Edward Masey.

Figura 6. Kelvite Mark IV en el Museo Real de Greenwich.

Ambos inventos tenían grandes limitaciones en cuanto a su versatilidad y uso práctico. Solo podían efectuar mediciones en zonas de poca profundidad que no iban más allá de las 150 brazas (unos 280 m). Esto era aceptable para los propósitos de navegación, pero imposibilitaba explorar el lecho marino en zonas de mayor profundidad.

En 1876, otro británico de nombre William Thompson, pero más conocido como lord Kelvin, patentó una variante más refinada de la sondaleza mecánica que se denominó Kelvite Mark IV. Inicialmente, se operaba de manera manual, pero con la invención de los motores de vapor se le integró, a inicios del siglo XX una pequeña máquina que hacía la tarea de sondar los mares un poco más eficiente.

PERO ¿DÓNDE ESTAMOS?

El 22 de octubre de 1707, el almirante británico Sir Clowdisley Shovell regresaba a Inglaterra con una pequeña flota de cinco buques luego de haber estado hostigando a los franceses en el Mediterráneo, cerca de Gibraltar. En un punto de la travesía de retorno a Inglaterra, el consenso de los capitanes afirmaba que se encontraban a distancia segura, al oeste de Île d'Ouessant (48.4614° N, 5.0914° W), a varias millas de la costa atlántica de Francia. Sin embargo, al continuar su travesía hacia el norte comprobaron con horror que habían errado los cálculos y en realidad habían ido a dar con los promontorios de Isle of Scilly (49.9233° N, 6.2966° W), un conjunto de pequeñas islas al suroeste de Inglaterra. Una pesada niebla les impidió percatarse del problema hasta el último minuto. El buque insignia, Association, se estrelló contra las rocas y se hundió en minutos con toda su tripulación. De los cinco buques que formaban la flotilla, cuatro se hundieron y solo dos tripulantes lograron salvarse, Sir Clowdisley uno de ellos.

¿Era Sir Clowdisley Shovell un mal navegante? Para nada. Casi cincuenta años de experiencia indicaban todo lo contrario: ¿Entonces qué había pasado para que un marino de tanta experiencia cometiera un error tan simple?

El problema estuvo en este caso, como en muchos otros por más de setecientos años, en la imposibilidad de los navegantes de entonces de poder calcular la longitud en alta mar.

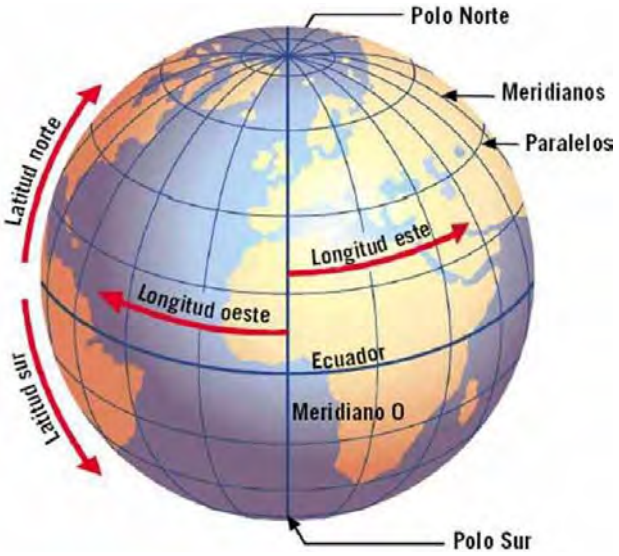


Figura 7. Sistema de coordenadas geográficas de la Tierra.

Hablemos pues, de un poco de geografía. Hasta un niño de primaria sabe hoy que para determinar un punto exacto en nuestro planeta se necesitan dos coordenadas: latitud y longitud. Las líneas de latitud, o paralelos, van horizontalmente desde el ecuador hasta los polos en círculos concéntricos que se estrechan en la medida en que se acercan al Ártico y a la Antártica; mientras que la longitud, o meridianos, se extienden verticalmente de polo a polo. Cualquier marino de experiencia es capaz de determinar, con buen grado de exactitud, su latitud, midiendo la duración del día, la altura del sol o la posición de las estrellas sobre el horizonte. Esto fue lo que hizo Cristóbal Colón en 1492: navegó siguiendo el paralelo, y habría llegado a la India sin duda, de no haber estado el continente americano ubicado en el trayecto.

Calcular la longitud, sin embargo, requiere de conocer la hora en el barco y también la hora en el lugar de origen u otro punto cuya longitud sea conocida, en ese preciso momento. Conocer ambas horas le permite al navegante convertir la diferencia de horarios en una separación geográfica. Puesto que el planeta tarda 24 horas en completar una vuelta de 360° sobre su eje, una hora equivale a un veinticuatroavo de vuelta, o 15° de la esfera. Por tanto, cada hora de diferencia entre la embarcación y el punto de origen, marca un progreso de 15° de longitud hacia el este o el oeste.

Esto puede hacerse hoy con un par de relojes baratos sincronizados al punto de origen, pero hasta 1737, los relojes eran de péndulo y de tamaño considerable, nada prácticos para travesías en alta mar. El constante balanceo del buque, la acción del salitre, la humedad y los cambios de temperatura terminaban dañando el artefacto, haciendo imposible mantener la hora exacta en la travesía y, por lo tanto, calcular la diferencia de horario con el puerto de zarpe.

La historia de John Harrison —el inglés que resolvió el dilema de la longitud— ha sido objeto de libros y artículos científicos en los últimos doscientos años. Sus relojes para medir la hora en alta mar aún se conservan en el Real Museo de Greenwich y reciben la visita de miles de turistas cada año, todavía encantados por la magia de estos inventos y lo que han significado para el desarrollo de la humanidad.

Figura 8. H-1, el primer reloj de John Harrison, de 1737 y H-5, el último, de 1770.

SONDAJES Y COORDENADAS

En cartografía náutica, los objetos son clasificados en cuatro grupos: polígonos, líneas, puntos y sondajes.

—Pero, espera… ¿un sondaje no es acaso también un punto?

Lo es, pero es uno especial y por eso es una categoría de objeto en sí. Mientras que el resto de los puntos en una carta náutica, digamos una boya o un faro, son representados en una coordenada (Lat./Long. o X/Y), los sondajes conllevan en sí el parámetro que los diferencia del resto de los objetos de puntos: la profundidad (Lat./Long./Prof. o X/Y/Z).

Con la solución del enigma de la longitud, se hizo posible calcular la posición en alta mar con mejor precisión. La navegación no solo se tornó mucho más segura y eficiente, sino que también ahora era posible representar puntos en las cartas de navegación con relativa exactitud.

Durante los siguientes casi doscientos años, se continuó sondando con el escandallo y representando las mediciones en su posición geográfica. Las campañas hidrográficas eran extensas, tediosas y aún inexactas. Las lecturas de profundidad eran registradas a mano, con latitud, longitud y profundidad, punto por punto, en lo que algunos denominan Hojas de Bote (filedsheets o hydrographic sheets en inglés). Al decir de un colega, la hidrografía de entonces se hacía con mucha calma.

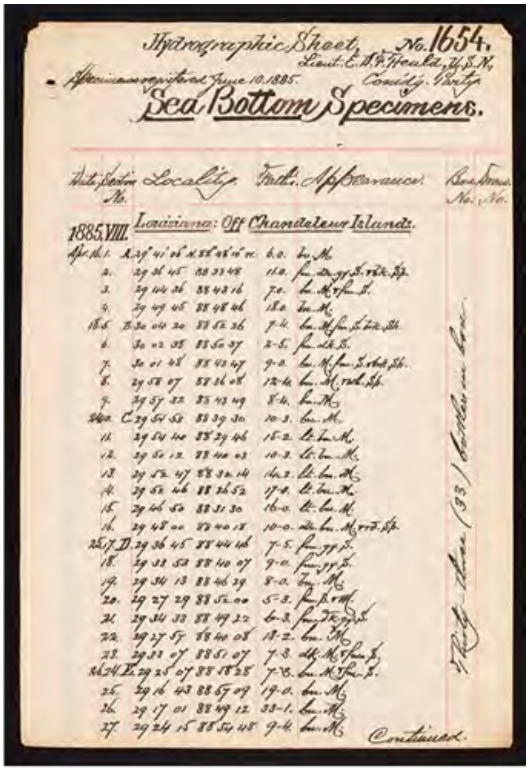

Hydrographic Sheet, No. 1654.
Sea Bottom Specimens.
1885. VIII. Louisiana: Off Chandeleur Islands.
Continued.

Figura 9. Hoja de levantamiento hidrográfico en la costa de Louisiana, Estados Unidos, de 1885

LLEGA EL SONIDO

Hoy es conocido que el sonido viaja a 340 m/s en una masa de aire a una temperatura de 20 °C. Pocos imaginan todo lo que tuvo que ocurrir para que llegáramos a esta aseveración.

Antes del descubrimiento de que el sonido viaja en forma de ondas, durante siglos muchos se preguntaron cómo era que podíamos escuchar lo que escuchamos. Esto, al igual que con el dilema de la longitud en alta mar, cambió cuando algunos de los científicos más notables de todos los tiempos lograron determinar cómo ocurre este fenómeno.

Uno de los primeros en estudiar el sonido fue el griego Aristóteles. Pero hubo que esperar casi mil años para que un señor llamado Galileo Galilei, fuera el primero en registrar la relación entre la frecuencia y tono de las ondas sonoras al estudiar el sonido de las notas musicales.

El siguiente salto en el estudio del sonido se lo debemos al matemático francés Marin Mersenne, que logró medir por primera vez la velocidad del sonido en el aire allá por 1640. Investigaciones posteriores determinaron que las mediciones de Mersenne tenían un error del 10 %, lo cual no deja de ser impresionante si tomamos en cuenta el desarrollo científico de la época.

Veinte años más tarde, el británico Robert Boyle descubrió que para que el sonido se propague, debe hacerlo a través de un medio que permita la traslación de las ondas. Sus experimentos se centraron en la transmisión del sonido a través del aire, pero esta fue la puerta de entrada para que otros investigaran también otros medios de propagación.

Figura 10. Christian Doppler (1803-1853).

Entre 1700 y 1800, muchos otros continuaron con los estudios del sonido, pero habría que destacar a otro francés, Joseph Fourier, que descubrió que las ondas sonoras producidas por una cuerda vibrante, viajan de manera regular o periódica.

Sin embargo, quizás el descubrimiento más trascendental en el estudio del sonido, lo realizó el físico austríaco Christian Doppler a mediados del siglo XIX.

Doppler se lleva el crédito por diseñar la fórmula matemática para calcular la frecuencia de la onda cuando esta se desplaza con relación a un observador. El austriaco estableció, a través de su ecuación, que en la medida en que la fuente de la onda (emisor de sonido) se aleja del observador, la frecuencia de onda se reduce y el sonido se escucha con menor intensidad. Lo contrario ocurre cuando la fuente emisora se acerca al observador. Es lo que se conoce como «Efecto Doppler»

$$f = \left(\frac{c + v_{\mathrm{r}}}{c + v_{\mathrm{s}}}\right) f_0$$

Figura 11. Fórmula de la frecuencia del sonido (efecto Doppler).

—¿Se acuerdan de aquel episodio de «Big Bang Theory» en el que Sheldon Cooper se disfraza con un traje de rayas blancas y negras? —Estaba recreando exactamente este fenómeno.

Doppler también logró establecer que la velocidad de la onda está directamente influenciada por el medio en que se propaga, lo cual tendría luego una significación inmensa para la hidrografía.

Escuchando las profundidades

El desarrollo de la investigación científica continúa su decursar hasta los días de hoy. A la entrada del siglo XX, los avances científicos y tecnológicos se produjeron de manera mucho más acelerada y constante que en los siglos anteriores. Hasta

este momento hemos revisado las circunstancias históricas que desembocaron en la hidrografía como una ciencia crucial para el funcionamiento de nuestra vida en el planeta: la necesidad de conocer y mapificar las profundidades de los océanos; la necesidad de conocer con certeza la posición geográfica en el mar; y el conocimiento de las características del sonido y su propagación.

En la madrugada del 15 de abril de 1912, el buque más grande construido hasta ese momento en el mundo, se fue a pique luego de cuatro días de navegación, desde la costa de Inglaterra rumbo a Nueva York. El Titanic, como es sabido, rozó contra un iceberg y se hundió rápidamente, llevándose consigo más de mil quinientas almas al fondo del océano. Este desastre, probablemente el peor accidente marítimo de la historia de la humanidad, empujó la adopción de una serie de medidas, hoy consideradas como norma por la Organización Marítima Internacional, para garantizar una mayor seguridad en las travesías y evitar otros desastres.

Figura 12. Alexander Behm (1880-1952)

Una de las medidas, sugeridas por el meteorólogo británico Lewis Fry Richardson, consistió en el uso de equipos emisores de sonido (eco) para la detección de masas de hielo flotantes en la travesía marítima. Esta es quizás la primera vez en que se sugiere el uso de ondas sonoras para «ver» algo que resulta invisible al ojo humano.

En 1913, el físico alemán Alexander Behm —que llevaba casi veinte años investigando la propagación del sonido— fue el primero en patentar una ecosonda. Su equipo fue descrito en los documentos de la patente alemana N° 282009, como un «dispositivo para medir las profundidades del mar y la distancia y dirección de buques y obstáculos a través de la reflexión de ondas sonoras». Curiosamente, al otro lado del Atlántico, el canadiense-estadounidense Reginald Fessenden hacía lo mismo que Behm.

Durante las siguientes dos décadas, el mundo se vería envuelto en la Primera y Segunda Guerra Mundial y una buena parte de las investigaciones científicas de cada parte se enfocaron en dotar a los ejércitos con tecnología que diera ventajas en el campo de batalla. Los alemanes refinaron sus submarinos y en consecuencia, el uso de la ecosonda se convirtió en algo común en los buques británicos para su detección.

Figura 13. Reginald Fessenden (1866-1932)

No fue hasta terminar la Segunda Guerra Mundial con la fundación de la Organización de las Naciones Unidas en la década de 1950 y la adopción de la Convención de las Naciones Unidas para la Ley del Mar (UNCLOS, por sus siglas en inglés), que las naciones comenzaron a unir sus esfuerzos en el desarrollo y uso de la tecnología para mapear los océanos y establecer rutas globales seguras.

La tecnología monohaz

La ecosonda monohaz ha marcado un hito en la hidrografía moderna. Este dispositivo emite un haz de sonido apuntado hacia el lecho marino desde un transductor, que a su vez captura el haz sonoro cuando rebota contra el fondo.

Lo transcendental aquí es que el aparato incorpora dos aspectos importantes que lo distinguen del resto de los instrumentos de sondaje anteriores: cada haz de sonido recibe una marca de tiempo al salir del transductor y otra marca de tiempo al retornar al transductor. Dado que es posible calcular la velocidad del sonido en cualquier medio, al combinar este parámetro con el tiempo de retorno del haz, se puede determinar la distancia que este ha recorrido. Por si no lo han adivinado aún, en este caso la distancia equivale a la profundidad.

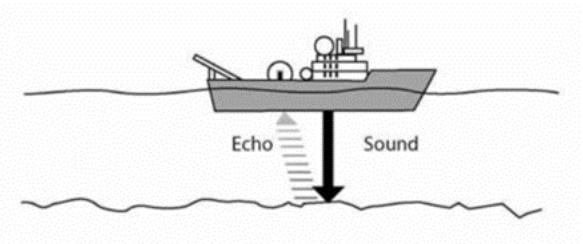


Figura 14. Principio general de funcionamiento de una ecosonda.

Desde el punto de vista técnico, es también necesario establecer la correlación entre la frecuencia sonora del ping del transductor y las profundidades que este puede alcanzar. Típicamente, las ecosondas que operan con baja frecuencia (entre 12 y 200 mHz) se utilizan para medir zonas de profundidades hasta los mil metros aproximadamente; mientras que los dispositivos de alta frecuencia (entre 200 y 400 mHz) son más apropiados para sondar áreas menos profundas. De esto podemos deducir que la frecuencia del equipo es inversamente proporcional a la profundidad que puede medirse con el mismo.

En adición a todo lo anterior, otro gran avance científico ha venido a solidificar aún más las operaciones hidrográficas. La implementación de un sistema de satélites de posicionamiento alrededor de nuestro planeta, nos permite ahora efectuar geolocalización de puntos con exactitud increíble. Todos utilizamos el GNSS todos los días, cuando queremos encontrar una dirección en nuestro automóvil, cuando deseamos saber dónde está nuestro Uber o cuando buscamos un punto en la geografía de Google Earth. El GNSS (Global Navigation Satellite System) es un término genérico para referirse a un grupo de sistemas satelitales que proporcionan servicios de posicionamiento, hora y navegación a nuestro planeta (Positioning, Timing and Navigation o PTN). Aunque la red GPS (Global Positioning System) es el sistema más popular y utilizado, existen otros como el BeiDou Navigation Satellite System (BDS), chino; Galileo de la Unión Europea; el GLONASS (Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema) de la Federación Rusa; y el Quasi-Zenith Satellite System (QZSS), operado por Japón, por solo mencionar algunos. Lo cierto es que en el mundo moderno, la vida sería muy complicada sin el acceso a estos servicios.

Figura 15. Ecosonda monohaz Odom Mk3.

En la hidrografía de hoy, resulta igualmente impensable efectuar un levantamiento sin el acceso a un sistema de posicionamiento global, y hemos avanzado tanto que las ecosondas vienen equipadas con herramientas de software que no solo calculan la profundidad con precisión sorprendente sino que también asignan a cada ping (haz de sonido) su posición geográfica correspondiente.

Pero volvamos a nuestro nuevo juguete, la ecosonda monohaz, que ha estado en uso solo en los últimos 70 años. Esta es aún muy joven si se le compara con su abuelo milenario, pero aún activo, el escandallo. La tecnología monohaz, a pesar de incorporar lo más avanzado en técnicas de sonido y geolocalización, por su propia naturaleza y la velocidad con que se mueve la ciencia hoy, va limitando su uso a aplicaciones muy puntuales de desarrollo costero y mapeo de áreas menores en aguas interiores.

Figura 16. Sistema Global de Navegación Satelital (GNSS).

Por otra parte, y como su propio nombre lo indica, monohaz quiere decir: «un haz cada vez».

—¿Recuerdan lo tedioso de sondar con el escandallo y registrar manualmente posiciones punto por punto?

Con una ecosonda monohaz, el proceso es muy similar, solo que la captura de datos se realiza en forma de línea de puntos resultante de la sucesión de cada uno de los haces singulares emitidos por la ecosonda. Estas se denominan, efectivamente, líneas de levantamiento. Levantar unas pocas líneas en un área geográfica reducida no es complicado utilizando tecnología monohaz. Imaginen ahora levantar un área de miles de kilómetros cuadrados y la campaña se convierte en una tarea titánica, de hecho, hoy, prácticamente incosteable.

La Figura 17 ilustra las limitaciones del levantamiento con ecosonda monohaz en zonas geográficas extensas. Cada línea roja equivale a un pase de la embarcación con la ecosonda.

Figura 17. Datos de levantamiento monohaz sobre una carta electrónica.

La tecnología multihaz

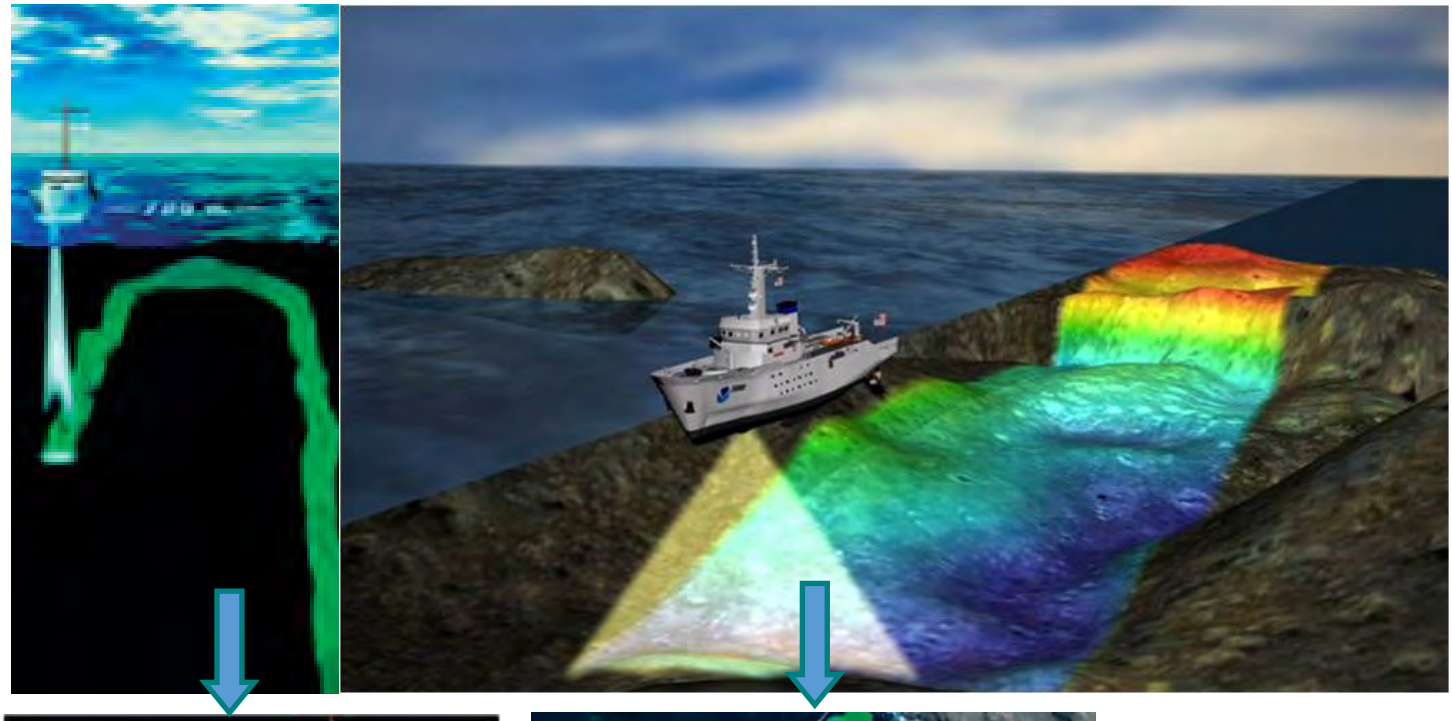
La tecnología multihaz sigue los mismos principios de la tecnología monohaz, pero permite sondar con mucha mayor eficiencia. Mientras que el transductor monohaz emite un ping cada vez, una ecosonda multihaz es capaz de emitir más de mil pings simultáneamente. Esto incrementa el área de sondeo exponencialmente y en consecuencia reduce el tiempo de levantamiento en una zona determinada.

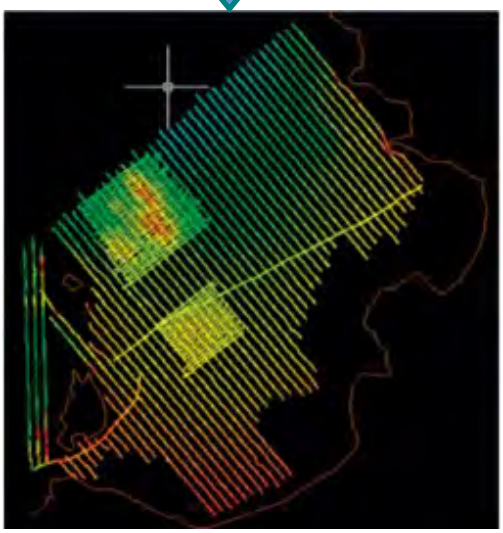
Los equipos multihaz permiten también sondar a profundidades de hasta los 11 mil metros con gran precisión y permiten ajustar el ángulo del transductor para modificar el ancho del abanico de pings. Esto es particularmente necesario cuando se levanta en áreas de altas profundidades, pues la

altura del cono sonoro provoca la pérdida de los haces exteriores si no se reduce el ángulo de inclinación de los transductores.

La otra gran ventaja de la tecnología multihaz es no solo la alta calidad de las lecturas de profundidad que se obtienen, sino el incremento exponencial de su densidad. Esto da como resultado imágenes de alta precisión con un nivel impresionante de detalle gráfico. Mientras que con el monohaz, las lecturas resultantes son líneas de datos, con el multihaz las lecturas constituyen superficies batimétricas.

Figura 18. (Izquierda) Levantamiento con monohaz. (Derecha) Levantamiento con multihaz.





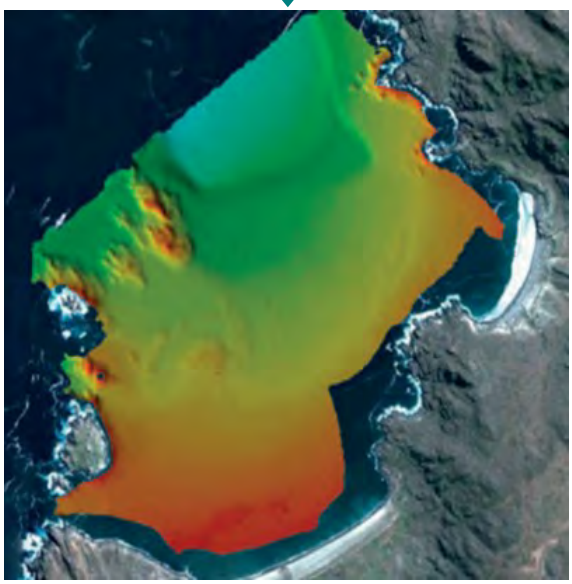


Figura 19. Izquierda. Levantamiento monohaz. Derecha: Superficie batimétrica con multihaz.

La velocidad del sonido

Anteriormente habíamos hecho referencia a la importancia de la velocidad del sonido en el cálculo adecuado de las profundidades. Es necesario aquí, hacer un paréntesis para profundizar un poco más en este parámetro, tan esencial para la hidrografía.

La velocidad del sonido, como ya sabemos, no es más que la distancia que cubre una onda sonora a través de un medio en una unidad de tiempo. Ya sabemos que la onda sonora se desplaza a 340 m/s en una masa de aire a 20 °C ¿Pero qué ocurre en el agua?

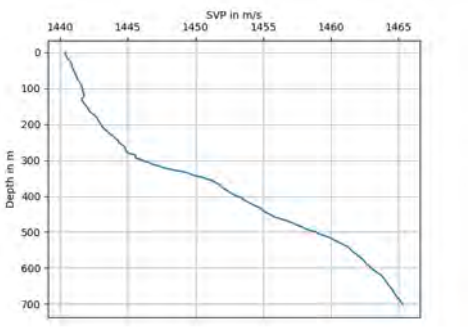


Figura 20. Perfil de la velocidad del sonido contra profundidad.

La velocidad del sonido se ve afectada en el océano por tres elementos: temperatura, salinidad y presión. La acción de estos tres parámetros puede hacer que la velocidad del sonido en el océano varíe entre los 1400 m/s y 1600 m/s.

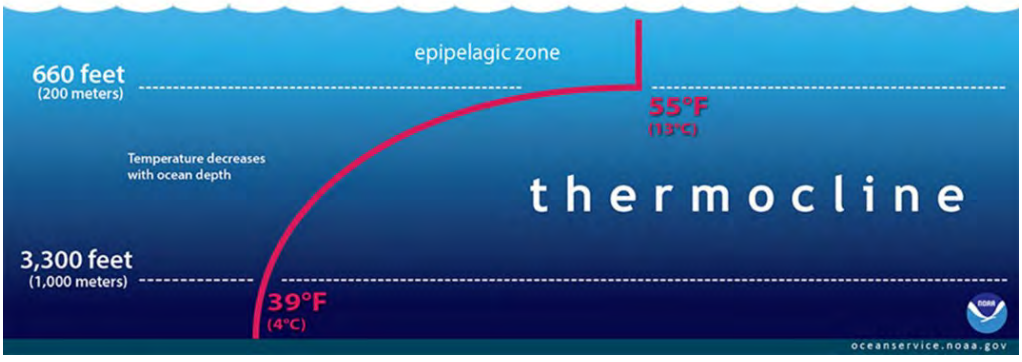
La combinación de estos tres aspectos en su relación con la profundidad produce un perfil vertical de sonido con un mínimo de velocidad muy característico a profundidad media. La temperatura se reduce drásticamente en el primer kilómetro vertical del océano y es el aspecto que más afecta la velocidad del sonido; esta influencia se reduce en la medida en que aumenta la profundidad. En las zonas más profundas (más allá de los mil metros), el cambio de velocidad contra temperatura es mucho menor y entra a ejercer mayor influencia el incremento de la presión de la columna de agua. Estas mediciones de velocidad del sonido en la columna de agua son las que denominamos «perfil de la velocidad del sonido» (Sound Velocity Profile o SVP).

También debemos tomar en cuenta que este perfil sufre su mayor variación al transitar la onda por la zona conocida como termoclina.

La termoclina es una gran capa de agua que subyace bajo la superficie oceánica en un rango entre los 200 y 1000 metros de profundidad, separando la capa superficial de agua del cuerpo más oscuro y profundo del océano. Las características físicas de la termoclina dependen de la temporada meteorológica en la zona, y esta puede llegar a ser algo temporal o semipermanente en el cuerpo de agua, recibiendo también la influencia de la radiación térmica del agua de la superficie durante el día y la noche.

La influencia de estos factores naturales en la velocidad del sonido en el agua, implica que también pueden afectar la medición de la profundidad al ser esta dependiente de la velocidad del sonido. Otro factor importante a tomar en cuenta es que la temperatura, la salinidad y la presión pueden variar incluso dentro de un área reducida. Esto obliga a los hidrógrafos a calcular perfiles de la velocidad del sonido, incluso varias veces al día durante un levantamiento para asegurar que las lecturas con la ecosonda son correctas.

Figura 21. Variación de la velocidad del sonido al transitar por una termoclina.



El método para establecer el perfil de la velocidad del sonido, pasa por ejecutar mediciones oceanográficas con sensores de conductividad (salinidad), temperatura y densidad (presión), popularmente conocidos como CTD (Conductivity, Temperature and Density Sensor). Los sensores CTD vienen equipados con software que ejecutan rutinas algorítmicas con los datos que reciben y van elaborando el SVP en una columna de agua determinada.

¿EL SOFTWARE O EL HIDRÓGRAFO?

Figura 22. Sensor de CTD.

Cuando se trabaja en levantamientos hidrográficos, especialmente con tecnología multihaz, existe la ocurrencia de ruido o lecturas dudosas al retorno de la onda. Esto puede estar influenciado por una serie de factores como el montaje de la ecosonda, la vibración de la embarcación si la ecosonda está muy próxima a la máquina de la embarcación, el nivel de sedimento presente en la columna de agua, entre otros. No olviden la importancia de los perfiles de la velocidad del sonido también.

Lo cierto es que si no se calculan y corrigen estos factores a través de pruebas de calibración, antes de inciar el levantamiento, y el constante monitoreo de la data durante el levantamiento, las lecturas pueden estar plagadas de errores que hacen que los datos sean inservibles. Los levantamientos pueden llegar a tener un costo de miles de dólares diarios por el tiempo de campaña, por lo que es de vital importancia que los datos obtenidos sean de calidad.

Esto implica, entonces, que los hidrógrafos deben estar equipados no solo con gran conocimiento, experiencia y buena tecnología, sino también con software de monitoreo y postprocesamiento, para garantizar resultados óptimos.

En el levantamiento monohaz, el procesamiento de los datos, por su reducido volumen, puede hacerse de forma más expedita. Sin embargo, procesar datos multihaz, donde se compilan millones de puntos en un tiempo reducido requiere, más que de tiempo, de poder de procesamiento a través de algoritmos estadísticos que hacen más eficiente la tarea del hidrógrafo. Esto a su vez, trae consigo un conflicto administrativo que muchas veces daña la eficiencia con que se efectúa el levantamiento: ¿Quién está en lo correcto ante una lectura dudosa, el software o el hidrógrafo?

Existen programas (software) de procesamiento muy conocidos como el HIPS/SIPS de Teledyne CARIS, las herramientas de Hypack o QPS que son capaces de postprocesar grandes volúmenes de datos y arrojar resultados muy exactos. Estas herramientas están diseñadas de conformidad con las normas hidrográficas internacionales establecidas por la Organización Hidrográfica Internacional. Pueden ejecutar rutinas estadísticas que permiten asignar a cada sondaje clasificaciones de «aceptado» o «rechazado» en dependencia de los parámetros preestablecidos y brindar resultados visuales tanto en 2D como en 3D.

A pesar de que nuestro cerebro no puede competir en velocidad y volumen de procesamiento con los algoritmos disponibles en el mercado, estos últimos carecen de algo: la capacidad de analizar la información más allá de parámetros matemáticos y tomar decisiones lógicas. Esto quiere decir que no debemos aceptar a ciegas los resultados del postprocesamiento con estas herramientas, pero tampoco desecharlas, si no utilizar la información resultante para tomar decisiones acertadas.

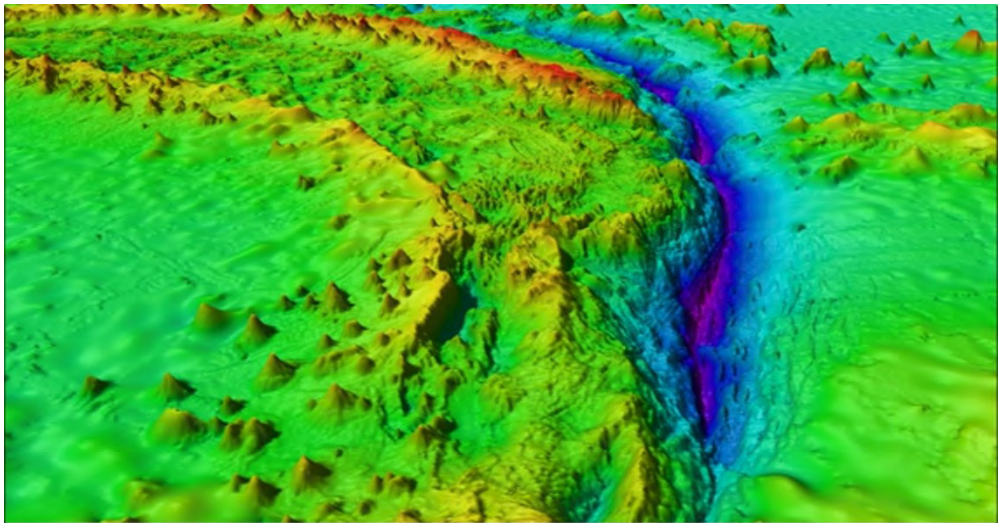


Figura 23. Superficie batimétrica de alta resolución.

Aviones, robots y satélites

Como la ciencia y el progreso no se detienen, ahora podemos instalar sensores remotos en diferentes tipos de vehículos para calcular las profundidades del mar.

La tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) utiliza la luz emitida por un pulso de láser instalado en un avión, para medir rangos (distancias variables) en la Tierra. Estos pulsos de luz, combinados con otros datos capturados por otros sensores en el avión, generan información precisa, tridimensional sobre las características de la superficie. Aunque esta tecnología es muy costosa, es especialmente útil para mapificar zonas donde el acceso de buques y embarcaciones es limitado o riesgoso. Aquí clasifica en el tope de la lista, levantar la zona costera, por su menor profundidad y por la presencia de rocas y arrecifes.

La tecnología LiDAR tiene ciertas limitaciones y hay zonas geográficas donde no es factible su utilización. Puesto que los resultados dependen del grado de penetrabilidad del rayo de luz en la superficie, en áreas de gran turbiedad es imposible calcular la profundidad. El mal tiempo, junto a la presencia de nubes a bajas alturas es otro problema, que aunque está considerado dentro de los software de procesamiento, limita la calidad de los resultados. A pesar de esto, el uso de esta tecnología se expande a muchos sectores económicos.

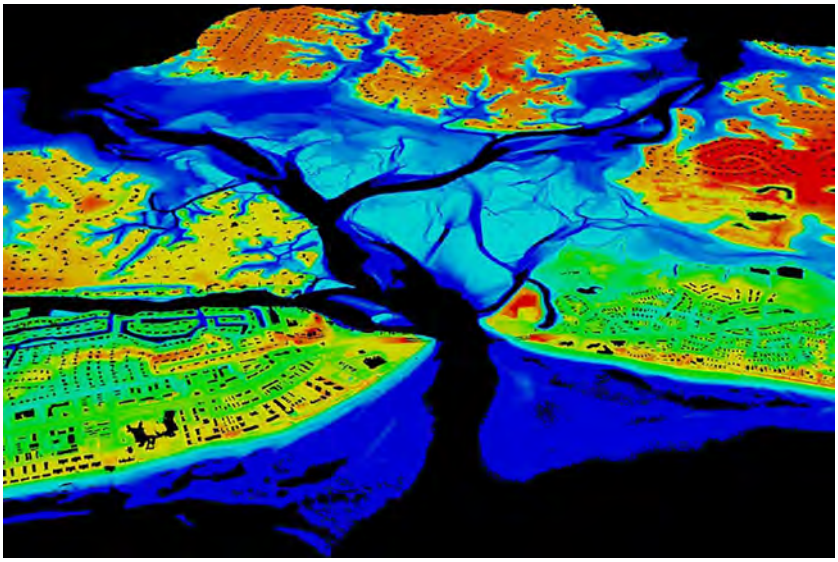


Figura 24. Mapa LiDAR de la Entrada de Lynnhaven, Virginia, EE. UU. (https://digitash.com/)

Otra de las plataformas de levantamiento, de uso muy reciente, lo constituye los AUV (Autonomous Underwater Vehicle), ROV (Remotely Operated Vessel) o USV (Unmanned Survey Vessel) cada una diferente de la otra, pero con el mismo propósito de mapificar e investigar los océanos.

Otra de las tecnologías avanzadas para captura de datos, con amplio uso en la hidrografía es el uso de imágenes de satélite para calcular profundidades. Este método de batimetría satelital (Satellite Derived Bathymetry o SDB) se va haciendo cada vez más popular aun cuando es una tecnología de acceso limitado y ocasiona opiniones encontradas entre la comunidad científica e hidrógrafos a nivel mundial.

Figuras 25. (Izquierda) AUV operado por la NOAA. (Derecha) ROV.

CONCLUSIONES

Un proceso que comenzó para evitar un accidente en el mar ha derivado a lo largo de los siglos, en una actividad imprescindible para la vida económica del planeta.

El imponente río Misisipi descarga toneladas de sedimento en su desembocadura. Esto provoca que el US Army Corps of Engineers deba sondar y dragar los canales de entrada a la vía fluvial a diario. Sin conocimientos y tecnología de hidrografía, sería imposible navegar a través de este delta.

Las aplicaciones de la hidrografía hoy se han expandido de manera tal que ya los datos no solo se compilan y utilizan para garantizar la seguridad de la navegación. Los datos batimétricos se aplican ahora en la planificación del desarrollo costero, la construcción de infraestructuras portuarias, protección del medio ambiente, prospección petrolera en la plataforma continental, por solo mencionar algunos de sus usuarios.

Estudiar el desarrollo de la hidrografía es también estudiar nuestra historia y es evidencia de cómo nuestra sed de conocimiento y búsqueda de soluciones nos llevan constantemente al progreso.

Lo cierto es que, al decir del señor Robert Ward, exdirector de la Organización Hidrográfica Internacional:

«Sin hidrografía, ningún barco zarpa, ningún puerto se construye, ninguna infraestructura costera se levanta, ningún plan de preservación marina se implementa, ninguna isla puede defenderse, ningún rescate en el mar se lleva a cabo, ningún modelo de inundación se desarrolla, ninguna frontera marítima puede establecerse ni aplicarse».

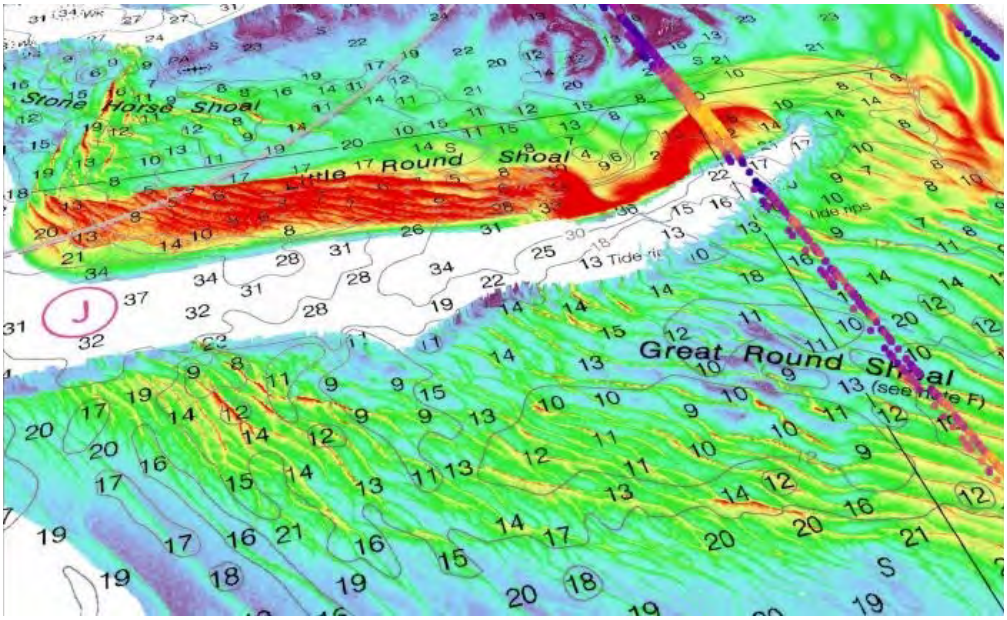


Figura 26. Batimetría satelital.
TCarta Marine.
(https://www.hydro-international.com/)

BIBLIOGRAFÍA

Nigg, J. (febrero, 2014). La serpiente marina de Olaus Magnus.En https://publicdomainreview.org/essay/olaus-magnus-sea-serpent

Diccionario Náutico (2022). Sondaleza. En https://diccionario-nautico.com.ar/sondaleza/

Sociedad histórica marítima nacional (s/f). Sea History para niños. En https://seahistory.org/sea-history-for-kids/leadline/

Royal Museums Greenwich (s/f). Máquina de sondeo. En https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-42900

Historia y biografías (2014). Meridianos y paralelos de la Tierra: concepto de latitud y longitud. En https://historiaybiografias.com/meridianos/

New Scientist (2009). El genio de la longitud "solitaria" puede haber tenido ayuda. En https://www.newscientist.com/gallery/dn17119-lone-longitude-pioneer-had-help/

La música que nos rodea (s/f). La historia de las ondas sonoras. En https://musicalsoundwaves.wordpress.com/the-history-of-sound-waves/

Equipos y laboratorios (s/f). Artículos. En https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/ecosonda-y-sonar-(historia-usos-y-funcionamiento)

Prabook (s/f). Alejandro Behm. En https://prabook.com/web/alexander.behm/2562498

CBC (2017). Este pionero de la radio canadiense soñaba con "palabras sin cables". En https://www.cbc.ca/2017/this-canadian-radio-pioneer-dreamed-of-words-without-wires-1.4042893

GPS.gov (2021). Otros sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS). En https://www.gps.gov/systems/gnss/

Spirent (2021). ¿Cuál es la diferencia entre GNSS y GPS? En https://www.spirent.com/blogs/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps

Bathylogger (2018). Sondas de eco de hazúnico de estudio hidrográfico. En https://bathylogger.com/single-beam-echo-sounders/

Institute of Estuarine and Coastal Studies University of Hull (2010). South Humber Channel Marine Studies: Bathymetry & Hydrography Survey Report. En https://www.researchgate.net/figure/Single-Beam-and-multi-beam-Echo-sounder-Transducer-Configurations-Force-1999_fig2_331928871

Geomares (2009). Batimetría Multihaz—Batimetría Monohaz. En https://geomares.com/productos/

Revista de Marina (2022). La batimetría y su representación en las cartas náuticas. En https://revistamarina.cl/es/articulo/la-batimetria-y-su-representacion-en-las-cartas-nauticas/es

Servicio Nacional del Océano (s/f). ¿Qué es una termoclina?. En https://oceanservice.noaa.gov/facts/thermocline.html

Servicio Nacional del Océano (s/f). ¿Qué es Lidar?. En https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html

Hydro International (2022). TCarta ofrece batimetría derivada de satélites para el piloto de mapeo costero de EEUU. En https://www.hydro-international.com/content/news/tcarta-delivers-satellite-derived-bathymetry-for-u-s-coastal-mapping-pilot

Organización Hidrográfica Internacional (2022). En https://iho.int/

Alejandro Geronés

Consultor cubano-canadiense para Soluciones Geoespaciales con veinte años de experiencia en la implementación de soluciones hidrográficas a nivel global. Trabajó durante 16 años como consultor de ventas para CARIS. Actualmente, se desempeña como consultor para le empresa india IIC Technologies y dirige los cursos en línea para cartografía e hidrografía de la IIC Academy.

Se sugiere citar:
Geronés, A. (2022). Del escandallo al satélite: Una historia mal contada de la Hidrografía. *Revista Cartógrafo.CL 3*(1), pp. 28-44.

Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.

Cartógrafo.CL/03-2022

Cartografía:
¿Una disciplina ignorada en Chile?

Marcela Salinas Torres (*)

(*) Doctora en Geografía, Paisaje y Medio Ambiente. Cartógrafa

msalinas@utem.cl

RESUMEN

En 1966, en el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile, se creó la carrera de Cartografía, traspasada en 1981 al Instituto Profesional de Santiago (IPS) como una de sus cuatro carreras fundadoras; establecimiento que, en 1993, se transformó en la Universidad Tecnológica Metropolitana (UTEM).

El problema abordado en este estudio es la progresiva baja en las matrículas que sufrió la carrera de Cartografía sin saber si se debió al desconocimiento de la disciplina por la falta de contenidos en los programas de estudio de Educación General Básica (EGB) / Enseñanza Media (EM) o por la falta de preparación por parte de los profesores para enseñar sobre ella.

El objetivo principal fue analizar si existe relación entre los programas de estudio de EGB/EM con las mallas de Pedagogía en EGB y en Historia, Geografía y Ciencias Sociales (HGyCS) y con la percepción de la ciudadanía. Metodológicamente, se desarrollaron tres dimensiones: la primera, para conocer los contenidos de los programas y su relación con la disciplina; la segunda, para conocer las mallas curriculares de las carreras de Pedagogía en EGB y en HGyCS a nivel país; y la tercera, para conocer la percepción de una muestra ciudadana, mediante la aplicación de un instrumento de consulta.

Los resultados obtenidos permitieron identificar los contenidos relacionados, aun cuando, en su mayoría, no se explicita que se trata de materias cartográficas. Respecto a las mallas curriculares de pedagogía, estas tienen nula o casi nula presencia de asignaturas cartográficas. Mientras que los resultados de la encuesta, evidenciaron que el nivel de conocimiento que se tiene sobre la disciplina es aceptable. Con estos datos se evaluó la relación entre las dimensiones, concluyendo que no existe coherencia entre los contenidos, la formación de profesores y la percepción sobre la Cartografía.

ANTECEDENTES

La Cartografía ha sido definida por diferentes autores y en distintas épocas. En esta investigación se reconoce como aquella que permite visualizar y comunicar un hecho y/o fenómeno en un tiempo determinado, con un formato único y a un nivel de detalle permitido por el nivel de datos. El desafío está en saber representar con exactitud una realidad determinada o amparada en una percepción sin límites, que depende de la habilidad y control del cartógrafo, para que sea sencilla y eficazmente transmitida (Black, 2006:6).

Es una disciplina que representa y comunica elementos y/o fenómenos tangibles, pero además los no visibles, por ejemplo, el nivel educacional de una población o la pobreza ética de un país. Hoy en día, las decisiones en materia de economía, protección al medio y sociedad dependen de la información abierta, específica y exacta, y a través de un producto cartográfico es posible hacerlo, aplicando procesos de calidad y desarrollo, sobre la base de consideraciones conjuntas entre proponentes y usuarios, evidenciando su importancia a lo largo de la historia, sirviendo como instrumento de análisis con el fin de saber dónde, cuándo, por qué, qué y cómo, respecto de la trazabilidad humana, con las interacciones implícitas sociales y económicas, así como la convivencia ego y ecocéntrica que el hombre ha tenido y tiene con los recursos naturales.

Científica y tecnológicamente la Cartografía responde como una herramienta de información, para diagnosticar y/o predecir la dinámica de un fenómeno y/o relación, amparada en la georreferenciación, en un apropiado nivel escalar y en la calidad de los datos, consolidando el proceso, gracias a productos que, incluso de acuerdo con la subjetividad del usuario, representan la realidad para ser comprendida.

Las emergentes tecnologías —como, por ejemplo, los satélites de percepción remota que permiten la recolección de datos en tiempo real, mediante sistemas de posicionamiento global que ya no solo se centra en los cálculos geométricos para la representación exacta, sino además en la informática y en el análisis estadístico espacial— facultan a la disciplina para insertarse en una revolución masiva.

Fuente: utem.cl

En el ámbito nacional, la formación en Cartografía es asumida por la UTEM, formando profesionales cartógrafo-geomáticos con una visión integral del sistema, considerando la esencia y el complemento de la disciplina. Sin duda, las nuevas tecnologías, los avanzados conocimientos y las certeras metodologías son pilares esenciales del programa de estudio, los que, a pesar de tratarse de un plan con matrícula cerrada, incentivan a la última cohorte de estudiantes que cursa la carrera (2018 a la fecha).

Oferta de Cartografía

Considerando los acelerados y progresivos avances tecnológicos, el Plan de estudio fue actualizado permanentemente entre 2002 y 2012, entregando el título profesional de Cartógrafo y el grado de Licenciado en Ciencias Cartográficas. Fue rediseñado en el 2013 como Cartografía y Geomática, de acuerdo con los lineamientos del Modelo Educativo de la UTEM, que promueve al estudiante como centro de su proceso de aprendizaje. El Plan duraba 10 semestres, con salida intermedia al 5° semestre como Técnico Universitario en Geomática; ofrecía tres Diplomaturas (Tecnologías de Información Geográfica, Gestión de la Información Territorial y Cartografía para la Gestión Ambiental) y el grado de Licenciado en Ciencias Cartográficas y Geomática. Este Plan se ofertó entre 2014 y 2018, y se ingresaba a través del proceso de selección universitaria del Consejo de Rectores, es decir, vía Prueba de Selección Universitaria.

Para difundir la carrera, se visitaron anualmente numerosos recintos educacionales de la Región Metropolitana (RM), dictando charlas, participando en diversas exposiciones de oferta académica y en reuniones con docentes de EM. Se creó la página web de la Escuela, así como videos de difusión, infografías, folleterías, entre otros. A pesar de ello, a excepción de dos veces, nunca se completaron los cupos ofertados, lo cual fue la justificación principal para declarar la carrera como inviable económicamente y, por lo tanto, cerrar su matrícula a partir de 2019. Las cifras se aprecian en la Tabla 1 y Tabla 2.

AÑO DE INGRESO	VACANTES OFRECIDAS	VACANTES CUBIERTAS
2004	40	40 (100%)
2005	40	9 (22,5%)
2006	30	24 (80%)
2007	30	29 (96,7%)
2008	30	Oferta suspendida
2009	30	13 (43,3%)
2010	30	16 (53,3%)
2011	35	18 (51,4)
2012	30	8 26,7%)
2013	25	14 (56%)
total	*320*	*171 (53,43%)*

Tabla 1.
Oferta y demanda de **Cartografía** (Elaboración propia a partir de UTEM, 2021).

AÑO DE INGRESO	VACANTES OFRECIDAS	VACANTES CUBIERTAS
2014	30	13 (43,3%)
2015	25	22 (88%)
2016	25	26 (104%)
2017	25	6 (24%)
2018	25	13 (52%)
total	*130*	*171 (53,43%)*

Tabla 2.
Oferta y demanda de **Cartografía y Geomática** (Elaboración propia a partir de UTEM, 2021).

El cierre de la matrícula es preocupante en el área de las ciencias de la Tierra, pues se cerrará un ciclo en la historia de la disciplina y a largo plazo se despojará al país de profesionales en la materia.

Es interesante complementar esta información con datos referentes a la carrera de pregrado en Geografía, dado la singular cercanía disciplinar. Considerando solo a las universidades que la imparten en la RM, según el Servicio de Información de Educación Superior, hasta 2021 es dictada en cinco universidades, una de las cuales la imparte como Ingeniería Geográfica. Respecto de los últimos cinco años, salvo una de ellas que tiene un superávit de 14 %, todas tienen déficit en la matrícula para primer año, con un 40 %, 16 % y 6 % (UTEM, 2021:11) Es decir, el 90 % presenta una disminución en las matrículas, situación que llama la atención al cotejar la demanda por parte de los estudiantes con las necesidades de planificación territorial y social que requiere el país.

Por otra parte, en los últimos 10 años, el país se ha sumido en una explosiva y diversa oferta académica, contando al 2021 con 56 Universidades, 47 Centros de formación técnica y 30 Institutos Profesionales, lo que se considera un factor influyente en la orientación vocacional de los estudiantes.

Demanda del Profesional Cartógrafo

La alta demanda del profesional cartógrafo a nivel nacional, durante las décadas de 2000 y 2010, hoy se vislumbra como una lejana realidad. Las tecnologías han revolucionado la representación de los datos, y la población lo asume al manejar "mapas" digitales para planificar una ruta, buscar una dirección, orientarse, etc., pero, sin atribuirlos a la disciplina cartográfica. Indirectamente existen estas fortalezas/oportunidades, pero al mismo tiempo se cuenta con debilidades/amenazas, dado que otras disciplinas se apropian del quehacer cartográfico como complemento de las tareas que desarrollan. Un ejemplo es el uso de los sistemas de información geográfica, cuya aplicación y uso de software generan productos cartográficos con facilidad, gracias a los manuales disponibles en internet, sin considerar que, a pesar de producirlos para su área profesional, los errores cometidos aún son numerosos a la hora de querer georreferenciar correctamente, establecer dátum, escoger el nivel de detalle y/o proponer la simbología eficaz de acuerdo con el usuario.

En mayo de 2021, una encuesta respondida por cartógrafos de Chile arrojó que de 61 personas el 18 % tiene postgrado (Magíster: 81,2 %; Magíster y Doctorado: 18,2 %). Actualmente, la gran mayoría trabaja en entidades particulares (34,4 %) y públicas (32,8 %) y resulta inquietante que un 23 % está desempleado, de cuyo porcentaje el 47,8 % lo está desde hace más de cinco años (UTEM, Escuela de Cartografía, 2021:2).

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio comparativo entre tres dimensiones, para diagnosticar en qué escenario se desarrolla la educación sobre Cartografía y cuál es la percepción de la comunidad.

Dimensión 1

Previo a la educación superior, en Chile la educación se imparte por nivel: Transición (Párvulos), Educación General Básica 8 años (edad aproximada entre 6-14) y Enseñanza Media 4 años (edad aproximada entre 14-18).

Según el Ministerio de Educación (MINEDUC) el propósito de la EGB es entregar una formación integral, considerando dimensiones físicas, afectivas, cognitivas, sociales, culturales, espirituales y morales. Por su parte, el de la EM es considerar lo anterior para desarrollar conocimientos, habilidades y actitudes para ejercer ciudadanía activa integrándose plenamente a la sociedad.

Los contenidos cartográficos tienen la única posibilidad de ser conocidos formalmente mediante la asignatura HGyCS, que se dicta de 1° a 8° de EGB y de 1° a 2° de EM. En 3° y 4° es parte de un plan electivo, dado la flexibilidad que otorga el Mineduc. Para las estadísticas de este estudio, se consideró el supuesto que el establecimiento la imparte durante 3° y 4° de EM.

El método consistió en catastrar las unidades de estudio de HGyCS correspondientes a cada año de EGB/EM. Cada año contiene 4 unidades, entre las cuales se destacaron aquellas que tienen directa relación con la disciplina, identificando las horas pedagógicas asignadas a cada una y sus respectivos propósitos.

Dimensión 2

La política de estándares para la enseñanza, respecto de las carreras de pedagogía, define “las habilidades, conocimientos y competencias que debe adquirir un/a profesional de la educación durante su formación inicial” (MINEDUC, 2020:1), constituyendo una herramienta relevante para fortalecer la formación de los profesores respecto de la actualización de conocimientos sobre educación y aprendizaje.

Los estándares pedagógicos y disciplinarios para carreras de pedagogía en HGyCS en EM, apuntan a que el estudiante comprenda su propia identidad, reconociéndose heredero de la historia de su país y protagonista de su tiempo y espacio. De acuerdo con los propósitos, proponen cuatro estándares de formación: Historia, Geografía, Educación Ciudadana y un estándar de Ciencias Sociales, que busca integrar la diversidad de perspectivas propias del área (MINEDUC, 2021: 73).

Considerando que en los estándares se alude al concepto disciplinar, a través de la Subsecretaría de Educación Superior del MINEDUC, se identificaron todas las universidades del país que dictan carreras de pedagogía en HGyCS para EM y pedagogía en EGB y luego se visitaron las respectivas páginas web, para conocer las mallas curriculares y las asignaturas relacionadas con Cartografía.

Dimensión 3

Se hizo partícipe a toda la comunidad a través de una encuesta como instrumento de medición, aplicada vía online a través de Google Forms y abierta

entre abril y agosto de 2021. Para elaborarla se consideraron preguntas dicotómicas, de selección única, de selección múltiple y abiertas, las cuales son claras y simples, de modo que toda persona las comprendiera, independiente de su actividad, cultura, etc. Se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3
Encuesta de percepción.
(Elaboración propia).

Pregunta	Alternativas
¿En qué región vive?	Se nombraron las 16 regiones del país
Si su respuesta anterior fue "Metropolitana de Santiago", ¿en qué comuna vive?	Se nombraron las 52 comunas de la RM
¿Cuál es su rango etario?	Menos de 14 años 14 – 18 años 19 – 24 años 25 – 30 años 31 – 40 años 41 – 50 años 51 – 60 años Más de 60 años
¿Qué actividad realiza?	Estudiante Enseñanza Básica o Media Estudiante Técnico o Universitario Trabajador(a) Independiente Trabajador(a) Público(a) Dueño(a) de casa Jubilado(a) Cesante
¿Cuál es su nivel de estudios formales?	Sin estudios Enseñanza Básica completa o incompleta Enseñanza Media completa o incompleta Educación Técnica completa o incompleta Enseñanza Universitaria completa o incompleta Postgrado completo o incompleto
Si usted ya cursó o cursa actualmente estudios técnicos o	*Respuesta abierta*
¿Ha escuchado hablar de la palabra "Cartografía"?	Sí / No
¿A través de qué medio conoce la disciplina cartográfica?	Publicidad Medios de comunicación Redes Sociales Familiares y/o amigos En el trabajo En el colegio, instituto y/o universidad Películas, series, podcasts, entre otros
De acuerdo con sus conocimientos, la Cartografía se dedica a:	Elaborar mapas Medir y planificar el territorio Catastrar la percepción de comunidades Comunicar información espacial Investigar y analizar información Todas las anteriores
¿Usted sabe dónde trabajan los/as Cartógrafos/as?	No sé dónde trabajan Municipalidades Ministerios Comisarías ONGs Consultoras Empresas de Geomarketing Empresas mineras Educación, Otras.

Continúa en la página siguiente...

De acuerdo con las labores que cree que realizan los/as Cartógrafos/as, ¿cree que podrían ser realizadas por otro profesional?	Sí / No / Tal vez
¿Alguna vez ha intentado ubicarse en el territorio a través de un mapa (físico o digital)?	Sí / No
Si su respuesta anterior fue "Sí", por favor seleccione el resultado:	Logró ubicarse gracias al mapa No entendió el mapa
¿Usted cree que los problemas que existen en el territorio podrían solucionarse con ayuda de la Cartografía?	Sí / No
Si su respuesta anterior fue "Sí", por favor seleccione el por qué:	Permitiría visualizar dónde y cómo ocurren los problemas Ayudaría a entender el problema Permitiría identificar territorialmente las soluciones Permitiría planificar el territorio de acuerdo con sus características y la población que en él habita Ninguna de las anteriores Otras
¿Usted cree que es importante esta disciplina para el desarrollo del país (respecto a la agricultura, minería, planificación de las ciudades, medidas sanitarias, impactos ambientales, industrialización, etc.)?	Sí / No
¿Conoce casas de estudio (universidades, institutos) en Chile que impartan o hayan impartido la carrera de Cartografía?	Sí / No

Luego, se diseñó un sistema de información geográfica para procesar los datos y construir productos cartográficos para el análisis.

Estudio de la relación

Para estudiar la relación de la disciplina con los programas de estudio de EGB/EM, las mallas de pedagogía y la encuesta, se estableció una comparación en base a seis actividades del cartógrafo mencionadas como alternativas múltiples en la encuesta, que al mismo tiempo son parte de los contenidos de algunos programas de estudio y que tienen directa relación con los nombres de las asignaturas, relacionadas con la disciplina, encontradas en las mallas curriculares de Pedagogía.

El análisis se hizo independiente de los porcentajes de horas, número de asignaturas y número de respuestas.

Fuente: maloo-estudios.com

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dimensión 1

- Programas de estudio de EGB

Se identificaron las asignaturas por año, estableciendo una comparación horaria respecto de HGyCS, lo que se visualiza en la Tabla 4.

Tabla 4.
Horas pedagógicas de 1° a 8° año de EGB para HGyCS (Elaboración propia).

EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA					
ASIGNATURA	1° a 4° (*)	5° a 6° (*)	7° a 8° (**)	Total (h/8 años)	Porcentaje
Lenguaje y Comunicación	1216	456	456	2128	18,42%
Matemáticas	912	456	456	1824	15,79%
Historia, Geografía y Ciencias Sociales	456	304	304	1064	9,21%
Artes Visuales y/o Música	608	228	228	1064	9,21%
Educación Física y Salud	608	152	152	912	7,89%
Orientación	76	76	76	228	1,97%
Tecnología	152	76	76	304	2,63%
Religión	304	152	152	608	5,26%
Inglés	--	228	228	456	3,94%
Ciencias Naturales	456	304	304	1064	9,21%
Horas de libre disposición	988	456	456	1900	16,44%
total	*5776*	*2888*	*2888*	*11552*	*100%*

(*) Decreto Supremo N° 2960, 2012
(**) Decreto N° 628 y modificación N°1265, 2016

Luego de analizar los contenidos anuales y los propósitos respectivos de cada unidad de aprendizaje, se hizo la sumatoria de horas dedicadas a materias relacionadas con Cartografía, calculando los porcentajes respectivos, información observada en la Tabla 5.

Tabla 5.
Horas asignadas a contenidos relacionados con Cartografía en HGyCS de EGB (Elaboración propia).

EDUCACIÓN GENERAL BÁSICA									
HGyCS	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	total
Horas pedagógicas	1444	1444	1444	1444	1444	1444	1444	1444	11552
Horas pedagógicas de HGyCS	114	114	114	114	152	152	152	152	1064
N° Unidades en HGyCS	4	4	4	4	4	4	4	4	32
N° Unidades relacionadas	1	1	1	1	1	1	0	1	7
Horas asignadas a la unidad	26	32	24	34	32	24	0	27	199
Porcentaje en relación con el total de horas anuales (1444 hrs)	1,80%	2,21%	1,66%	2,35%	2,21%	1,66%	0%	1,86%	--
Porcentaje de horas asignadas (199) en relación con el total de horas anuales de HGyCS (1064)	18,70%								
Porcentaje de horas asignadas (199) en relación con el total de horas de EGB (11552)	1,72%								

En los programas de estudio las unidades y propósitos relacionados son:

1°año. U3: «Características de Chile y representaciones geográficas. Habilidades de ubicación e inicio de la representación espacial, a través de la interpretación y elaboración de planos y maquetas sencillas».

Propósitos: Desarrollar habilidades generales de ubicación espacial/Ubicarse en contextos geográficos próximos y progresivamente más amplios/Familiarizarse con los mapas y reconocer que se utilizan para representar distintos lugares y ubicarse en ellos.

2°año. U1: «Trabajar con mapas y conocer nuestro país. Profundizar el trabajo con mapas del planeta Tierra, sus continentes y océanos, Chile y América. Identificar a nuestros países vecinos».

Propósitos: Desarrollar habilidades de orientación y representación espacial/ Trabajar con planos, utilizando categorías de ubicación relativa y la interpretación de simbología pictórica, a fin de profundizar el trabajo con mapas y la utilización de los puntos cardinales/Formar una imagen clara del planeta Tierra, de sus continentes y océanos, y de su propia localización en él/Familiarizarse con el mapa de Chile y América, siendo capaces de identificar a los países vecinos.

3°año. U1: «Ubicación espacial y líneas imaginarias del planeta. Pensamiento espacial, utilizando los puntos cardinales para comprender las coordenadas geográficas. Reconocer continentes y océanos».

Propósitos: Progresar en el desarrollo del pensamiento espacial y de las habilidades asociadas a este/Utilizar categorías de ubicación relativa, se agrega un primer acercamiento al uso de categorías de ubicación absoluta, mediante el trabajo con cuadrículas y la ubicación de elementos en ellas, utilizando los puntos cardinales/Familiarizarse con las distintas representaciones de la Tierra y las líneas de referencia que se utilizan en ellas, con el fin de ubicarse y de reconocer los continentes y los océanos del planeta.

4°año. U1: «Ubicando lugares de América en los mapas. Conocimiento de América, progresando en las habilidades de orientación espacial, y usando mapas y coordenadas geográficas para localizar lugares».

Propósitos: Progresar en sus habilidades de orientación espacial, familiarizándose y aplicando categorías de ubicación absoluta y relativa/Usar mapas y coordenadas geográficas para localizar lugares y mostrar información.

5°año. U1: «La diversidad geográfica de Chile: principales rasgos físicos y recursos de las distintas zonas naturales del país».

Propósitos: Ser capaces de describir el espacio geográfico chileno, considerando los principales rasgos

Fuente: geografiainfinita.com

físicos de las distintas zonas naturales del país, los paisajes resultantes de la interrelación del medio natural con la sociedad y los principales recursos presentes en cada una de estas zonas/Se privilegia el uso de mapas, imágenes, medios audiovisuales y de información estadística sencilla para ilustrar y comunicar los fenómenos estudiados.

6°año. U4: «Chile desde las diversas visiones geográficas. Características de Chile, tanto desde el punto de vista geográfico como identitario, la organización político-administrativa de Chile, los diversos ambientes naturales».

Propósitos: Conocer las características geográficas del país como identitario: localización relativa, su dimensión tricontinental, su relativo aislamiento y los desafíos, oportunidades y desventajas que se derivan de su localización con respecto al resto del mundo; desde la organización político-administrativa; desde diversos ambientes naturales; tomando conciencia de los desastres que lo han afectado a lo largo de su historia/Se privilegia el uso de mapas, imágenes, medios audiovisuales y de información estadística sencilla para ilustrar y comunicar los fenómenos estudiados.

7°año: Unidades no relacionadas.

8°año. U4: «Sociedad y territorio: la región en Chile y América. Reconocer los diversos factores que definen una región e identificar los distintos tipos de regiones que pueden configurarse en Chile».

Propósitos: Analizar los grados de conexión y de aislamiento de las regiones en el espacio nacional, reconociendo que la conectividad depende de elementos como el transporte, la población o el acceso a bienes y servicios.

El programa establece que para lograr estos aprendizajes, el docente promueva el desarrollo de habilidades de pensamiento espacial, como la de representación de las características de los lugares, mediante herramientas geográficas y tecnológicas.

Estos propósitos permitirían que los niños entiendan desde inicios de su vida escolar la importancia de los mapas para ubicarse espacialmente, cuyos conceptos de ubicación y espacio le dan sentido a la orientación y a la posición, base esencial para comprender que en un tiempo determinado cada geocomponente ocupa un territorio específico y que este puede ser representado en productos cartográficos. Se aprecia que los propósitos tienden a ayudar al escolar a construir su mapa cognitivo, con conceptos que son la base inicial para representar su entorno y asociarlo así a la disciplina cartográfica. Sin embargo, la importancia de los mapas se enfoca en estos mismos y no se hace alusión a la Cartografía. Tal vez, según los expertos esta etapa sea temprana para entender plenamente el concepto, pero, siendo consecuente con la etapa de operaciones concretas (desde los siete hasta los once años), definida por Jean Piaget, en estas unidades se acerca el producto al escolar, para que lo manipule y lo comprenda. El avance acumulativo procura una especial intención de relacionar la ubicación con referencias universales, los puntos cardinales, cuya comprensión evoluciona a medida que supera los años de enseñanza. Quizás sí sea capaz de comprender y asociar el concepto.

A pesar de plantear la impartición de estos contenidos, el número de horas dedicadas a materias relacionadas con Cartografía en cuatro cursos no supera el 2 %, en tres no supera el 3 % y en 7° año no existen contenidos relacionados.

Finalmente, el 1,72 % (contenidos relacionados), se comparten con otros propósitos abordados en cada unidad, de modo que es posible que además de ser bastante bajo disminuya considerablemente.

Programas de estudio de EM

Los programas están planteados para un año académico de 38 semanas, sin embargo, la Ley N°19532 permite que los establecimientos educacionales decidan entre 38 y 40 semanas. En esta investigación se consideraron 38, dado que los datos por Decreto se presentan en base a esa cantidad.

A continuación, se observa en las tablas 6 y 7 la distribución horaria en EM.

ENSEÑANZA MEDIA Humanista Científico		
ASIGNATURA	1° y 2° total hrs (*)	Total (%)
Lenguaje y Literatura	456	14%
Matemáticas	532	17%
Historia, Geografía y Ciencias Sociales	304	10%
Artes Visuales o Música	152	5%
Educación Física y Salud	152	5%
Orientación	76	2%
Tecnología	152	5%
Religión	152	5%
Idioma extranjero: inglés	304	10%
Ciencias Naturales	456	14%
Horas de libre disposición	456	14%
total	*3192*	*100%*

(*) Extraído del Decreto N° 1264, 2016

Tabla 6
Horas pedagógicas de 1er y 2° año de EM para HGyCS. (Elaboración propia).

Pareciera existir un equilibrio en la distribución, pero los contenidos de HGyCS, si bien se reconocen en los programas como insumos para las otras asignaturas, no se observa esta importancia en la distribución horaria.

Del 10 % del total de horas asignadas cada año, se desconoce qué cantidad específicamente se dedica a las materias relacionadas con la disciplina dado la flexibilidad del programa.

Respecto de 3° y 4° año de EM, las bases curriculares establecen tres formas y cada una con tres modalidades: Humanista Científico, Técnico Profesional y Artística. En la primera, una modalidad considera HGyCS; en las dos últimas, una modalidad considera HGyCS, pero como electivo.

Para este estudio solo se consideró la modalidad Humanista Científico, dado que su Plan de Estudio asigna mayor cantidad de horas a la asignatura.

Pareciera existir un equilibrio en la distribución, pero los contenidos de HGyCS, si bien se reconocen en los programas como insumos para las otras asignaturas, no se observa esta importancia en la distribución horaria.

Del 10 % del total de horas asignadas cada año, se desconoce qué cantidad específicamente se dedica a las materias relacionadas con la disciplina dado la flexibilidad del programa.

Respecto de 3° y 4° año de EM, las bases curriculares establecen tres formas y cada una con tres modalidades: Humanista Científico, Técnico Profesional y Artística. En la primera, una modalidad considera HGyCS; en las dos últimas, una modalidad considera HGyCS, pero como electivo.

Para este estudio solo se consideró la modalidad Humanista Científico, dado que su Plan de Estudio asigna mayor cantidad de horas a la asignatura.

ENSEÑANZA MEDIA Humanista Científico			
ASIGNATURA	3° y 4° total hrs (*)	Total (%)	
Lenguaje y Literatura	228	7%	General Común
Matemáticas	228	7%	
Educación Ciudadana	152	5%	
Filosofía	152	5%	
Inglés	152	5%	
Ciencias para la Ciudadanía	152	5%	
Religión	152	5%	General Electiva
Artes			
Historia, Geografía y Ciencias Sociales			
Educación Física y Salud			
Plan diferenciado	1368	43%	
Horas de libre disposición	608	19%	
total	*3192*	*100%*	

(*) Extraído del Decreto Exento N° 876, 2019

Tabla 7.
Horas pedagógicas de 3° y 4° año de EM para HGyCS. (Elaboración propia).

En los cursos electivos, los contenidos relacionados no debiesen perder valor dado la transversalidad de esta, los que son base fundamental para que el estudiante entienda el medio, asimilándolo y haciéndolo suyo con respeto y de común unión si así bien lo comprende. Es difícil entender que en 76 horas anuales se alcancen los logros, sin olvidar que este total de horas contempla otros tres cursos electivos cada año. Por lo tanto, en vez de afianzar lo impartido durante los años anteriores, es probable que, al contrario, se pierda el esfuerzo y la consolidación de los logros de aprendizaje.

La distribución de horas relacionadas con la disciplina, respecto de las unidades por año, y respectivos propósitos, se observa en la Tabla 8.

En los programas de estudio las unidades y propósitos relacionados son:

1° año. U3: «Conformación del territorio chileno. Caracterizar el proceso de expansión territorial hacia nuevas zonas, y comprender los conflictos que se irán gestando, como los problemas limítrofes o los conflictos con las comunidades mapuche».

Propósito: Visualizar la construcción territorial como una dinámica propia de los Estados nacionales en constante configuración y conflicto.

ENSEÑANZA MEDIA					
HGyCS	1°	2°	3°	4°	total
Horas pedagógicas	1596	1596	1596	1596	6384
Horas pedagógicas de HGyCS	152	152	152	152	608
N° Unidades en HGyCS	4	4	4	4	16
N° Unidades relacionadas	1	0	1	1	4
Horas asignadas a la unidad	31	0	38	38	107
Porcentaje en relación con el total de horas por año (1444 horas / año)	1,94%	0%	2,38%	2,38%	--
Porcentaje de horas asignadas (107) en relación con el total de horas anuales de HGyCS (1596)	6,70%				
Porcentaje de horas asignadas (199) en relación con el total de horas de EGB (11552)	1,67%				

Tabla 8
Horas asignadas a contenidos relacionados con Cartografía en HGyCS de EM (Elaboración propia).

2° año: no existen unidades relacionadas.

3° y 4° año: se considera el curso Geografía, Territorio y Desafíos Socioambientales, de entre cuyos objetivos de aprendizaje se encuentra: «Recoger, sistematizar y comunicar información sobre procesos y dinámicas espaciales, mediante el uso de estrategias y metodologías propias de la geografía, tales como interpretación y análisis de cartografía, georreferenciación y uso de imágenes, estadísticas e información geográfica, trabajo de campo, entrevistas, encuestas, mapeos participativos, escalas de percepción, entre otros».

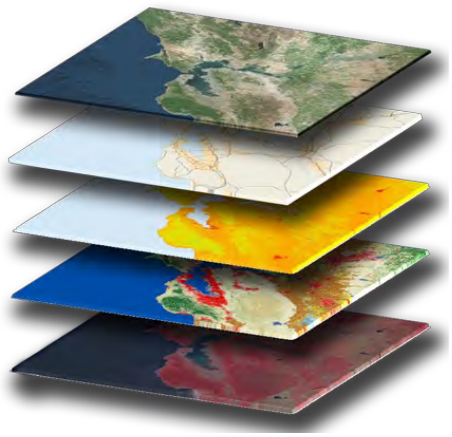
Los contenidos son: U1 «El espacio geográfico, objeto de estudio de la geografía, y construcción del ser humano a través del tiempo»; U2 «El paisaje cambia en el tiempo por causas naturales y por la acción de la sociedad»; U3 «El territorio se organiza y planifica para responder a las relaciones entre ser humano y medio»; U4 «Desafíos y riesgos socionaturales: una oportunidad para la participación ciudadana».

Se menciona la disciplina por su nombre, pero en general el porcentaje vuelve a ser bastante menor e inferior a los años anteriores, evidenciando una progresiva disminución de horas dedicadas a la asignatura y dentro de esta una preocupante baja en las materias relacionadas. Un 1,67 % del total es de bajo impacto a pesar de la amplitud de los objetivos de los programas.

Dimensión 2

- Enseñanza de la Cartografía en las Pedagogías

Los programas de estudio de las mallas curriculares no son públicos, por lo tanto, la búsqueda se realizó de acuerdo con los nombres de cada asignatura que tuviese relación directa con Cartografía, para no generalizar ni suponer contenidos, lo que habría generado un posible sesgo. En Chile, 18 universidades imparten Pedagogía en EGB (mifuturo.cl), información que se ve en la tabla 9, de las cuales 6 no publican las mallas en sus páginas web.



UNIVERSIDAD	CARACTER	SEMESTRES	ASIGNATURAS	ASIG. RELACIONADAS
Bío-Bío*	Estatal	8	46	0
La Serena*		10	54	0
La Serena, Limarí*		10	sin datos	
Los Lagos**		10	58	0
Playa Ancha de Ciencias de la Educación**		9	55	0
Tarapacá**		8	45	0
Adventista de Chile*	Privada	sin datos		
Academia de Humanismo Cristiano**		10	53	0
Católica Cardenal Raúl Silva Henríquez**		10	54	0
Diego Portales*		8	40	0
Católica de Villarrica*		sin datos		
Católica de Santiago*		10	50	0
Central de Chile*		10	60	0
Católica de Valparaíso*		sin datos		
Finis Terrae**		10	58	0
Las Américas**		sin datos		
O´Higgins**		sin datos		
Católica de la Santísima Concepción**		10	44	0

(*) Pedagogía en EGB
(**) Pedagogía en EB

Tabla 9. Mallas curriculares de Pedagogía en EGB (Elaboración propia).

La preparación sobre Cartografía para los futuros profesores de EGB, al menos en las mallas curriculares no se evidencia, entonces no se observa coherencia directa entre los contenidos relacionados con Cartografía en los programas y los cursos que estudia el futuro profesorado para impartirla.

La información de las mallas se resume en la Tabla 10.

UNIVERSIDAD	CARACTER	SEMESTRES	ASIGNATURAS	ASIG. RELACIONADAS
Bío-Bío***	Estatal	10	52	0
La Serena***		10	54	1 (Representación Espacial)
Los Lagos*		10	60	0
Playa Ancha de Ciencias de la Educación***		9	66	1 (Cartografía Aplicada)
Tarapacá***		10	56	1 (Cartografía)
Valparaíso**		10	54	0
Santiago de Chile		sin datos		
La Frontera*****		10	54	0
Alberto Hurtado**	Privada	10	54	0
Austral de Chile**		8	40	0
Adventista de Chile***		sin datos		
Academia de Humanismo Cristiano**		10	50	0
Católica Cardenal Raúl Silva Henríquez***		10	60	0
Concepción***		sin datos		
Bernardo O´Higgins****		10	58	0
Católica de Temuco******		sin datos		
Autónoma de Chile******		sin datos		

* Pedagogía en Educación Media en Historia y Geografía
** Pedagogía en Historia y Ciencias Sociales
*** Pedagogía en Historia y Geografía
**** Pedagogía en Historia y Geografía en Enseñanza Media
***** Pedagogía en Historia y Geografía y Educación Cívica
****** Pedagogía en Historia, Geografía y Ciencias Sociales

Tabla 10. Mallas curriculares de Pedagogía en HGyCS en EM (Elaboración propia).

Solo 4 universidades (23,52%) contemplan en su malla curricular una asignatura en Cartografía, lo que equivale a menos del 2 % en cada caso.

Los resultados evidencian que no existe una relación coherente entre los contenidos relacionados con Cartografía en los programas y la preparación del futuro profesorado que los impartirá en EM.

Dimensión 3

- Aplicación de una encuesta de percepción

La encuesta fue respondida por 340 personas, siendo relevante para cotejar los registros de la dimensión 1 y 2. En la Tabla 11 se aprecian los resultados.

Tabla 11.
Resultados de la encuesta de percepción (Elaboración propia).

Pregunta	Alternativas
¿En qué región vive?	El 78,2 % (266) reside en la RM de Santiago, con una distribución comunal bastante heterogénea.
Si su respuesta anterior fue "Metropolitana de Santiago", ¿en qué comuna vive?	
¿Cuál es su rango etario?	Predomina la población entre 19 y 24 años con un 47,6 % (162)
¿Qué actividad realiza?	Destacan los estudiantes de educación técnica o universitaria (59,1 %:201), los trabajadores públicos (16,2 %: 55), los trabajadores privados (10 %: 34) y los trabajadores independientes (8,5 %: 29).
¿Cuál es su nivel de estudios formales?	Predomina enseñanza universitaria completa o incompleta (61,8 %: 210), relación directa con el rango etario predominante. Luego, EM completa o incompleta (16,8 %: 57) y postgrado (15 %: 51).
Si usted ya cursó o cursa actualmente estudios técnicos o universitarios, ¿cuál es su profesión o carrera?	Principalmente: Ingeniería, Geografía y Geología; áreas de la Salud, Comunicación, Educación, Administración Pública y Privada.
¿Ha escuchado hablar de la palabra "Cartografía"?	El 93,8 % (319) respondió Sí. De quienes respondieron No, 14 son estudiantes o tienen la profesión Técnica o Universitaria (8 en Ingeniería Civil; 2 en Trabajo Social; 3 entre 14 y 18 años y 1 es menor de 14 años).
¿A través de qué medio conoce la disciplina cartográfica?	(de selección múltiple (sm)). Predomina “A través del Colegio, instituto y/o universidad” (59,6 %: 190); “A través de películas, series, podcasts, entre otros” (32,3 %: 103); “A través de familiares y/o amigos” (29,8 %: 95) y “A través de medios de comunicación” (25,7 %:82).
De acuerdo con sus conocimientos, la Cartografía se dedica a:	De los(as) 190 que la conocen “A través del colegio, instituto y/o universidad”, el 6,31 % (12) tiene entre 14 y 18 años y el 46,84 % (89) entre 19 y 24. Además, 9 son estudiantes de EM. (sm). Un 90,9% (290) respondió “Elaborar mapas”; un 66,8% (213) “Medir y planificar el territorio”. Sobre “Comunicar información espacial” respondió un 45,1% (144) y un 41,1% (131) “Investigar y analizar información”. Un 22,6% (72) “Catastrar la percepción de comunidades” y un 0,6% (2) “Todas las anteriores”.
¿Usted sabe dónde trabajan los/as Cartógrafos/as?	(sm). Más del 50% respondió: Ministerios, empresas mineras y Municipalidades. Otros(as) señalaron: comisarías, educación, geomarketing, consultoras y ONGs. Un 37,9% (121) a pesar de responder que conoce la disciplina no sabe dónde trabaja.

Continúa en la página siguiente...

De acuerdo con las labores que cree que realizan los/as Cartógrafos/as, ¿cree que podrían ser realizadas por otro profesional?	El 43,3% (138) respondió "No"; el 12,9% (41) respondió "Sí" y el 43,9% (140) "Tal vez". Hubo un porcentaje que no respondió. De quienes respondieron Sí, 8 son de Geología, 6 de Geografía y 11
¿Alguna vez ha intentado ubicarse en el territorio a través de un mapa (físico o digital)?	El 98,7% (315) respondió "Sí" y al unir la siguiente pregunta, el 97,1% (306) respondió "Logró ubicarse gracias al mapa". Quienes dicen no haberlo entendido, son 9 personas cuyas edades fluctúan entre: 14 - 18 (2 estudiantes de EM); 19 - 24 (6 de Astrono-
Si su respuesta anterior fue "Sí", por favor seleccione el resultado:	El 83,1% (265) cree que Sí. Del 16,9% (54) que respondió No, 26 son de Ingeniería, 5 de salud, 3 de Geología y 1 es Profesora de Historia y Geografía. El porcentaje restante corresponde a otras
¿Usted cree que los problemas que existen en el territorio podrían solucionarse con ayuda de la Cartografía?	
Si su respuesta anterior fue "Sí", por favor seleccione el por qué:	En continuidad a la siguiente pregunta (sm), un 86,1% (230) respondió "Permitiría planificar el territorio de acuerdo con sus características y la población que en él habita". Un 69,7% (186) respondió "Permitiría visualizar dónde y cómo ocurren los problemas"; un 64,8% (173) respondió "Permitiría identificar territorialmente las soluciones"; un 45,7% (122) respondió "Ayudaría a entender el problema"; un 4,8% (12) respondió "Otras" y un 0,4% (1) respondió "Ninguna de las anteriores".
¿Usted cree que es importante esta disciplina para el desarrollo del país (respecto a la agricultura, minería, planificación de las ciudades, medidas sanitarias, impactos ambientales, industrialización, etc.)?	El 95,9% (306) respondió "Sí".
¿Conoce casas de estudio (universidades, institutos) en Chile que impartan o hayan impartido la carrera de Cartografía?	Un 44,8% (143) respondió "Sí".

Relación entre los programas de estudio de EGB/EM y las mallas curriculares de Pedagogía en EGB y en HGyCS

Para hacer esta relación fue necesario resumir los datos recopilados de ambas dimensiones en la Tabla 12.

Porcentaje de contenidos relacionados respecto del:	EGB			EM		
	Total de horas de HGyCS (1064)	Total de horas de EGB (11552)	Total de horas de EGB y EM (17936)	Total de horas de HGyCS (608)	Total de horas de EM (6384)	Total de horas de EGB y EM (17936)
	18,70%	1,72%	1,10%	6,70%	1,67%	0.59%
Dictadas por: Universidades estatales	Pedagogía en EGB 6			Pedagogía en Historia, Geografía y Ciencias Sociales 8		
Universidades privadas	12			9		
Asignaturas en cada Malla Curricular	Entre: 40 y 50: 4 51 y 60: 8 s/datos: 6			Entre: 40 y 50: 2 51 y 60: 10 61 y 66: 1 s/datos: 4		
Mallas Curriculares con asignaturas relacionadas	0			Malla de: 54 asignaturas: 1 56 asignaturas: 2 66 asignaturas: 1		

Tabla 12. Resumen de Dimensiones 1 y 2 (Elaboración propia)

De acuerdo con la evidencia, se observa que no existe concordancia entre la carga horaria de los contenidos abordados en las mallas y aquellos que deben ser enseñados en las aulas escolares. El 18,70 % de horas pedagógicas relacionadas en los programas de HGyCS, es un porcentaje comparativo muy bajo para enseñar un tema en solo un año (199 horas).

Respecto del Profesor en HGyCS, ocurre algo similar a lo anterior, sin embargo, el 6,70 % (107) de horas pedagógicas que se imparten en HGyCS de EM, probablemente incide para que cuatro universidades integren en sus mallas curriculares una asignatura relacionada con Cartografía, independiente que respecto de todas las horas el valor sea solo de un 1,67 %.

Relación entre los programas de estudio de EGB/EM y la percepción

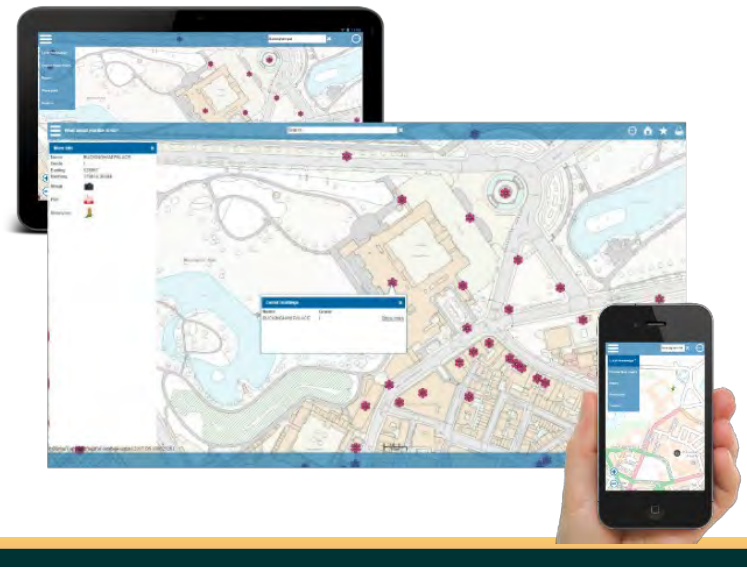
Si bien los programas asignan una reducida cantidad de horas a los contenidos relacionados con Cartografía, el 93,8 % de los encuestados respondió conocer la disciplina, de los cuales el 59,6 % expresó conocerla en el colegio, instituto y/o universidad. Habría sido interesante que esta pregunta tuviese las tres opciones por separado, así se habría conocido el porcentaje específico referente a los colegios.

Si se profundiza aún más sobre el conocimiento de los encuestados, el 90,9 % asocia la disciplina solo a “Elaborar mapas”, lo que está explícito en las unidades de los programas, pero además resalta que el 66,8 % respondió que tiene que ver con “Medir y planificar el territorio”, lo que tiene directa relación con las unidades de orientación, ubicación y medición escalar en EGB.

Por su parte, el 45,1 % respondió que la disciplina “Comunica información espacial” y un 41,1 % respondió que “Sirve para investigar y analizar información”, directa relación con los objetivos y propósitos de las unidades de EGB y EM en general, respecto no solo de usar mapas y coordenadas geográficas, sino además construir un pensamiento espacial, para saber interpretar y analizar los contenidos del mapa.

Relación entre las mallas curriculares de Pedagogía y la percepción

Las cifras permiten deducir que probablemente no se requiere una formación específica para los futuros profesores de EGB y de HGyCS en torno a la Cartografía, porque se observa que gran parte de los encuestados la conoce, sin embargo, con una muestra mayor sería factible verificar si persiste la tendencia. En este estudio no fue posible encontrar relación directa, dado los escasos o nulos contenidos que tienen las mallas curriculares.



Triada: Programas - Pedagogía (Mallas) - Percepciones

Para esta relación, se identificaron de las seis actividades del Cartógrafo, cuáles explícitamente se mencionan en las tres dimensiones, lo que se observa en la tabla 13.

Actividades del Cartógrafo	Programas de estudio	Mallas	Percepción
Elaborar Mapas	Sí	Sí	Sí
Medir y planificar el territorio	Sí	-	Sí
Catastrar la percepción de comunidades	-	-	Sí
Comunicar información espacial	Sí	Sí	Sí
Investigar y analizar información	Sí	-	Sí
Todas las anteriores	-	-	Sí

Tabla 13.

A continuación, se midió la presencia de cada actividad en las dimensiones asociadas, asignando un valor por el nivel de asociación (NA).

En las tablas 14, 15 y 16 se aprecia el valor asignado a cada NA de las dimensiones.

Actividades del Cartógrafo	Programas de estudio	Mallas	NA
Elaborar Mapas	Sí	Sí	1
Medir y planificar el territorio	Sí	-	-
Catastrar la percepción de comunidades	-	-	-
Comunicar información espacial	Sí	Sí	1
Investigar y analizar información	Sí	-	-
Todas las anteriores	-	-	-
total			*2 (33,33%)*

Tabla 14.

Actividades del Cartógrafo	Programas de estudio	Percepción	NA
Elaborar Mapas	Sí	Sí	1
Medir y planificar el territorio	Sí	Sí	1
Catastrar la percepción de comunidades	-	Sí	-
Comunicar información espacial	Sí	Sí	1
Investigar y analizar información	Sí	Sí	1
Todas las anteriores	-	Sí	-
total			*4 (66,66%)*

Tabla 15.

Actividades del Cartógrafo	Mallas	Percepción	NA
Elaborar Mapas	Sí	Sí	1
Medir y planificar el territorio	-	Sí	-
Catastrar la percepción de comunidades	-	Sí	-
Comunicar información espacial	Sí	Sí	1
Investigar y analizar información	-	Sí	-
Todas las anteriores	-	Sí	-
total			*2 (33,33%)*

Tabla 16.

El mejor NA se interpreta entre los programas y la percepción.

Si bien los resultados de la encuesta indican que se percibe conocer la disciplina no existe evidencia para demostrar que se recibió una correcta educación sobre la misma y tampoco se observa una valoración de la disciplina por parte de las entidades que imparten las carreras de Pedagogía en EGB y en HGyCS.

CONCLUSIONES

El propósito del estudio fue analizar respecto de la Cartografía, la relación entre los programas de Educación General Básica/Enseñanza Media, las mallas curriculares de Pedagogía en Educación Básica y Pedagogía en Historia, Geografía y Ciencias Sociales y la percepción de la ciudadanía a nivel país.

En primera instancia, no hay duda de que la mínima asignación de horas para enseñar contenidos relacionados con la disciplina, tanto en EM como en EGB, influiría en los niveles de conocimiento que el estudiante reciben sobre la temática y, por lo tanto, su nivel de asimilación respecto de la dinámica disciplinar así como su aplicación, se subestimarían o simplemente no las relacionaría con tecnologías que hoy permiten que, esta ciencia sea parte de cotidianas actividades para conocer, georreferenciar, analizar, evaluar, planificar y desarrollar un mejor uso y manejo del territorio, así como un mejor análisis extraplanetario.

Los programas de estudio, si bien plantean ideas conceptuales relacionadas con la disciplina, no se enmarcan en una cantidad de horas pedagógicas coherente para impartir los propósitos establecidos. Y más grave aún, solo en 1er año de EM se imparten, en 2° no se consideran y en 3° y 4° son electivos, de modo que es difícil entender que con ese escaso tiempo pueda motivarse al estudiante respecto de la disciplina.

Sin embargo, el hallazgo más inesperado e interesante es que, el 93,8 % respondió que conocía el concepto de Cartografía y además supo responder sobre su quehacer.

Por otra parte, el catastro de las mallas de pedagogía permitió evidenciar que todas las universidades que imparten Pedagogía en EGB excluyen asignaturas relacionadas con Cartografía, decisión preocupante a la hora de reconocer que las competencias que el estudiante adquiriría gracias a este conocimiento sencillamente se pierden al momento de escuchar a un profesor no preparado en la temática. La misma situación ocurre con las universidades que imparten Pedagogía en HGyCS, salvo 4 entidades. Desafortunadamente, no todas las universidades publican las mallas curriculares ni los programas de asignaturas, material que habría permitido profundizar sobre los contenidos.

El estudio contribuye al análisis de la sinergia entre las tres dimensiones, cuya conclusión más significativa es que la percepción sobre la disciplina supera el nivel de desconocimiento de esta, aunque sea un conocimiento incompleto. Pues, a pesar de contar con tiempo limitado para enseñar sobre ella y con un profesorado que al parecer no están suficientemente preparado, los resultados de la encuesta reflejan que gran parte de la población la conoce, sabe sobre sus actividades, reconoce que es una herramienta que comunica y que aporta al

desarrollo del país, como asimismo en qué entidades se trabaja, por lo tanto, una explicación puede ser que no sea una disciplina atractiva para los jóvenes de hoy. Y un dato no menos importante es que el 26,17 % de quienes respondieron la encuesta tiene entre 19 y 24 años, edad en la que justamente se estudia una carrera profesional.

La evidencia de este estudio sugiere que desde los primeros cursos de EGB se hace necesario orientar a los estudiantes identificando los conocimientos, actitudes y habilidades que debe aprender para desenvolverse en la vida (Gysbers y Henderson, 2001:5), comprendiendo que dentro del abanico de asignaturas, la Geografía es parte esencial para entender las interacciones entre la naturaleza y la sociedad, y a través de ella hacerlo explorar específicamente en la disciplina cartográfica en términos de enseñarle a «espacializar» su existencia y la de quienes lo rodean, haciendo uso de tecnologías potentes que reemplazan al mapa análogo y estático, y que lamentablemente hasta nuestros días aún es utilizado en el aula, sin conocer las plataformas virtuales y remotas que hoy utiliza la Cartografía para la permanente actualización de sus productos, con una mirada exacta de los datos y de las relaciones tangibles e intangibles, así como percibidas y reales.

Es penoso que el mismo MINEDUC defina la Geografía como una disciplina que permite comprender la dimensión espacial, contar con conocimientos, habilidades y actitudes para representar y conocer las interacciones entre la sociedad y la naturaleza. Es decir, la hace dueña del objetivo que tiene la Cartografía (“representar y comunicar”) y evidenciando en los objetivos de aprendizaje categorías analíticas propias de la disciplina: «… destacando entre las habilidades de pensamiento geográfico: georreferenciación, orientación-ubicación espacial, localización geográfica…, representación espacial-cartográfica, …» (Mineduc, 2021: 74).

Se podría plantear la hipótesis de que, si la Cartografía fuese correcta y plenamente conocida por la comunidad nacional, de alguna forma incidiría en la vocación de los estudiantes, para escogerla como carrera de educación superior, especialmente si el profesorado supieran en qué consiste, sus competencias y atributos, así como sus aplicaciones en tiempo real, para evidenciar impactos ambientales, coberturas urbanas saturadas, asentamientos humanos con riesgo por eventos de ciclo rápido, entre otras miles de problemáticas que hoy es imperante controlar en concordancia con las políticas de desarrollo sustentable y sostenible para alcanzar niveles de calidad ecocéntrica en el planeta.

Finalmente, es correcto mencionar que el estudio tiene varias limitaciones. Al tratarse de una pequeña muestra, faltaron respuestas por parte de estudiantes de EGB y de EM, para contar con resultados directos en relación con los programas que hoy se imparten en Chile.

REFERENCIAS

Clark, John (2006) Joyas de la Cartografía. 100 ejemplos de cómo la cartografía definió, modificó y aprehendió el mundo. Editado por John Clark con una introducción del catedrático Jeremy Black. ISBN-10;1-40548-133-1. ISBN-13;978-1-40548-133-5. Edición española Parragon Books Ltd. Queen Street House. Reino Unido.

García R., Marina; Villegas Ma. Margarita; González, Fredy. (2015). La noción del espacio en la primera infancia: un análisis desde los dibujos infantiles. ISSN 1011-2251 Revista Paradigma, vol. 36 núm. 2, diciembre, pp 225-245. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1011-22512015000200011 (consultado: 26 de agosto de 2021)

Gysbers, Norman C; Henderson, Patricia. (2001). Programas integrales de orientación y asesoramiento: una rica historia y un futuro brillante. Professional School Counseling; Alexandria Tomo 4, N.° 4: 246. Disponible en: https://www.proquest.com/docview/213261044?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true (consultado: 14 de julio de 2021)

Farías-Martínez, Gabriela; Monforte-García, Gabriela; García-Montoya, Maricela; Prott-Maldonado, Luis (2016). Criterios, percepciones y personalidad de los estudiantes que determinan la elección de una carrera profesional en el área de negocios. Revista Iberoamericana de Educación Superior, 7(19). Disponible en: http://dx.doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2016.19.187. (consultado: 14 de septiembre de 2021)

Harwood, Jeremy (2008). Los confines del mundo. 100 mapas que cambiaron la percepción de la Tierra. Editado por BLUME, Barcelona, España. ISBN978-84-8076-797-2.

Marchesi, Álvaro (1983). Conceptos espaciales, mapas cognitivos y orientación en el espacio. Universidad de Salamanca, Estudios de Psicología N°14/15. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1080/02109395.1983.10821355. (consultado: 13 de septiembre de 2021)

MINEDUC (2009). Objetivos Fundamentales y Contenidos Mínimos Obligatorios de la Educación Básica y Media. ISBN 978-956-292-258-6. Santiago de Chile.

MINEDUC (2012). Estándares orientadores para carreras de pedagogía en Educación Media. Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas. Impreso en LOM Ediciones Ltda. Disponible en www.cpeip.cl (consultado: 14 de junio de 2021)

MINEDUC (2012). Estándares orientadores para egresados de carreras de pedagogía en Educación Básica. Estándares pedagógicos y disciplinarios. 2° edición. Impreso en LOM Ediciones Ltda. Disponible en: https://www.cpeip.cl/wp-content/uploads/2019/03/Est%C3%A1ndares_B%C3%A1sica.pdf (consultado: 14 de junio de 2021)

MINEDUC (2012). Decreto 2960 Exento. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-34972_recurso_decreto.pdf (consultado: 31 de agosto de 2021)

MINEDUC (2016). Decreto 1264 Exento. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-34974_programa.pdf (consultado: 31 de agosto de 2021)

MINEDUC (2016). Decreto 1265 Exento. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-34971_recurso_decreto.pdf (consultado: 31 de agosto de 2021)

MINEDUC (2018b). Decreto 67/2018 Aprueba normas mínimas nacionales sobre Evaluación, Calificación y Promoción y deroga los decretos exentos N°511 de 1997, N°112 de 1999 y N°83 de 2001, todos del Ministerio de Educación. Disponible en: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1127255 (consultado: 27 de agosto de 2021)

MINEDUC (2019). Bases Curriculares 3° y 4° Medio. Santiago: Unidad de Currículum y Evaluación. Santiago, Chile. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/portal/Curso/Educacion-General/3-y-4-Medio/ (consultado: junio, julio de 2021)

MINEDUC (2019a). Bases Curriculares Tercero a Cuarto Medio. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/portal/Curso/Educacion-General/3-y-4-Medio/ (consultado: 26 de agosto de 2021)

MINEDUC (2019b). Política Nacional de Convivencia Escolar. Santiago, Chile. División Educación General. Disponible en: https://convivenciaescolar.mineduc.cl/wp-content/uploads/2019/04/Politica-Nacional-de-Convivencia-Escolar.pdf (consultado: 22 de julio de 2021)

MINEDUC (2019c). Trabajo colaborativo y desarrollo profesional docente en la escuela. Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas. Santiago, Chile. Disponible en: https://www.cpeip.cl/wp-content/uploads/2019/03/trabajo-colaborativo_marzo2019.pdf (consultado: 22 de julio de 2021)

MINEDUC (2019d). Módulo de formación ciudadana Innovación pedagógica en educación básica. Santiago, Chile. Disponible en: https://formacionciudadana.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/46/2019/10/Modulo_de_Formacion_Ciudadana_WEB.pdf (consultado: 23 de julio de 2021)

MINEDUC (2019e). Presentación Resultados Nacionales Evaluación Docente 2018. Disponible en: https://www.cpeip.cl/wp-content/uploads/2019/08/Resultados-Evaluación-Docente-2018.pdf (consultado: 27 de julio de 2021)

MINEDUC (2020b). Aprendizaje Socioemocional Fundamentación para el plan de trabajo. Santiago, Chile. Disponible en: Https://bibliotecadigital (consultado: 18 de julio de 2021)

MINEDUC (2021). Estándares de la profesión docente. carreras de pedagogía en historia, geografía y ciencias sociales. educación media centro de perfeccionamiento, experimentación e investigaciones pedagógicas (CPEIP). Disponible en: https://estandaresdocentes.mineduc.cl/wp-content/uploads/2021/08/Historia-Media.pdf (consultado: 27 de julio de 2021)

MINEDUC (2021). Vigencia de instrumentos curriculares. Unidad de Currículum y Evaluación. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-241604_recurso_pdf.pdf (consultado: 31 de agosto de 2021)

MINEDUC (s.f.b). Innovación pedagógica y trabajo colaborativo entre docentes. Guía de innovación pedagógica: una propuesta para la identificación de oportunidades de innovación en nuestro establecimiento. Santiago, Chile. Disponible en: https://liderazgoescolar.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/55/2019/08/Herramienta-6-Final.pdf (consultado: 15 de junio de 2021)

MINEDUC (s.f.a). Evaluación para el Aprendizaje: Educación Básica Primer Ciclo. Santiago, Chile. Estándares de la Profesión Docente Carreras de Pedagogía en Historia, Geografía y Ciencias Sociales. Santiago, Chile.

MINEDUC Buscador de Carreras. Santiago, Chile. Disponible en: https://www.mifuturo.cl/buscador-de-carreras/?tipo=carrera (consultado: 16 y 17 de junio de 2021)

Piaget, Jean (1985). La construcción de lo real en el niño. Editorial Crítica. Barcelona, España.

Piaget, Jean (2007). La representación del mundo en el niño. Editorial Morata. Madrid, España.

Salinas Torres, Marcela (2021). Test dirigido a Cartógrafos(as) y Cartógrafos(as) Geomáticos(as). Informe de la Escuela de Cartografía, Comité de Empleabilidad. UTEM.

Salinas Torres, Marcela (2021). Percepción sobre la disciplina cartográfica. Informe de la Escuela de Cartografía, Comité de Empleabilidad. UTEM.

Universidad de Chile (2019). Segunda encuesta de percepción y apropiación social de la ciencia y la tecnología en Chile. Facultad de Economía y Negocios. Departamento de Economía. Disponible en: https://www.conicyt.cl/wp-content/uploads/2014/07/31072019-Informe-Final-Conicyt.pdf (consultado: 10 de agosto de 2021)

Universidad Tecnológica Metropolitana (2021). Prospección del Medio Laboral para la carrera de Geografía. Prácticas innovativas de articulación académica: docencia de pregrado-docencia de postgrado-investigación científica. CODIGO UTM 19101. Dirección de Postgrado.

Marcela Patricia Salinas Torres

Cartógrafa, con el grado de Doctora en Geografía, Paisaje y Medio Ambiente por la Universidad de Barcelona, España y el grado de Magíster en Asentamientos Humanos y Medio Ambiente, por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Es Académica Titular del Departamento de Cartografía de la Universidad Tecnológica Metropolitana.

Tiene publicaciones nacionales e internacionales sobre Cartografía y sobre temáticas ambientales. Ha participado como expositora en varios congresos y seminarios tanto en Chile como en el extranjero, dando a conocer los resultados de sus investigaciones.

Ha sido invitada por la Universidad de Barcelona como miembro de Tribunales Doctorales y por la Universidad de Chile para impartir docencia a profesionales expertos en minería, desde la veta de protección ambiental.

Se sugiere citar:
Salinas, M. (2022). Cartografía: ¿Una disciplina olvidada en Chile? *Revista Cartógrafo.CL 2*(2), pp. 45-67.

Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.

Cartógrafo.CL/03-2022

Caracterización del evento de sequía meteorológica

durante el período 2014-2017 en la provincia Ciego de Ávila (Cuba)

Alexey Valero Jorge (*)

(*) Ingeniero Hidrógrafo Geodesta Especialista en Meteorología

Cuba

alexailyn3101@gmail.com

RESUMEN

El principal objetivo de este estudio es caracterizar el comportamiento del evento de sequía meteorológica en la provincia Ciego de Ávila, incluyendo los Cayos Coco y Guillermo, en el período 2014-2017. Se analizó el comportamiento de este evento de sequía meteorológica por períodos estacionales, lluvioso (mayo-octubre) y poco lluvioso (noviembre-abril). Para ello se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y las Anomalías de la Precipitación (AP). Como principal resultado de los obtenidos en este estudio se concluyó que, durante este período 2014-2017, los semestres de mayor afectación fueron de noviembre 2014 a abril 2015, de mayo a octubre de 2016, y de noviembre 2016 a abril 2017. Este último fue el de mayor intensidad y extensión en el territorio de los siete que presentaron déficits en las precipitaciones. Los resultados obtenidos en esta investigación permiten y contribuyen a acelerar el proceso de toma de decisiones ante futuros eventos de sequía a escala local.

INTRODUCCIÓN

La sequía es uno de los fenómenos naturales que tiene una influencia extrema en el clima (Mishra & Singh, 2010; 2011). Esta ejerce una influencia significativa en la sostenibilidad de los recursos hídricos, así como en la producción agrícola y el medio ambiente (Dai, 2011; Samarah, 2005). La sequía se caracteriza por la frecuencia, el umbral de intensidad y la duración. También se estudia desde tres puntos en función de aspectos influyentes como la precipitación, la evaporación, la humedad del suelo, la vegetación y el caudal de los arroyos (Ionita *et al.*, 2016; Eswar *et al.*, 2018). Wilhite & Glantz (1985), entre un amplio espectro de enfoques, implantan cuatro tipos principales de sequías: meteorológica, agrícola, hidrológica y social o económica. Los cuatro tipos de sequías antes mencionadas se distinguen por distintas características de formación. Aquellos factores que afectan cada una de ellas están correlacionada. La sequía meteorológica es de entre todas ellas la más importante, por cuanto todos los tipos de sequías se derivan de esta, en particular, de la escasez de precipitaciones (Kerang, 1993).

El estudio en cuestión analiza directamente la sequía meteorológica en la provincia Ciego de Ávila (incluyendo sus cayos al norte). Según Wilhite & Glantz (1985), se entiende por sequía meteorológica cuando la precipitación aparece muy por debajo de lo esperado en una amplia zona y para un largo período. En diferentes estudios se ha demostrado que el déficit de agua provocado por la sequía es cada vez más recurrente y constante, y a su vez afecta de manera severa a las regiones en las que esta se manifiesta. A medida en que se está menos preparado para afrontarlas, las consecuencias económicas, sociales y ecológicas son más graves. La mejor estrategia para disminuir la vulnerabilidad es la prevención (Velasco & Collado, 1998).

La región de América Latina, en los últimos años, ha registrado cambios constantes en los patrones climáticos, reduciéndose o concentrándose los días y volúmenes de lluvias, lo que conlleva a recurrentes períodos de sequía y a efectos devastadores en la seguridad alimentaria y nutricional; así como en el acceso al agua de las poblaciones más vulnerables que viven en zonas muy expuestas (ECHO, 2014). Se conocen los trabajos en Centroamérica y el Caribe realizados por Calvo-Solano *et al.* (2018) en el Corredor Seco Centroamericano (abarca El Salvador, Honduras y Guatemala). En otros estudios, Honduras se identifica ante la sequía en la región como el de mayor vulnerabilidad (Bouroncle *et al.*, 2015). Hay que destacar también a Paredes *et al.* (2008), quienes analizan espacialmente el fenómeno de la sequía a través del SPI en los llanos de la región de Venezuela. En Cuba, según Centella *et al.* (2006) y Otero & Barcia (2018), eventos moderados y severos de sequía se duplicaron durante el período normal 1961-1990, en relación con el anterior período 1931-1960. Durante la década de los años 1990, las afectaciones sucedidas en los veranos de 1993, 1994, 1998 y 2000 fueron muy considerables, especialmente, el suceso de 1998 que fue uno de los más intensos para el período abril-mayo-junio, reconocido por el Centro del Clima del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), en sus estadísticas, disponibles desde 1941. El evento de sequía de corto período transcurrido desde abril hasta julio de 1998 se mostró de una forma muy sensible en todo el país y en algunos municipios de la región oriental del país (usualmente afectados por sequía). El perjudicial impacto de este evento alcanzó la categoría de desastre, provocando incontables daños y molestias en la población. Entre los años 2003-2005, se mostró otro evento de

sequía en Cuba, el cual, según se tienen registros, fue clasificado como el más intenso. En el año 2004, el acumulado de lluvia durante los doce meses (enero-diciembre), respecto a iguales períodos de tiempo en los últimos 74 años, mostró que fue el peor caso desde 1931 en seis provincias del país: Villa Clara, Sancti Spíritus, Camagüey, Las Tunas, Holguín y Granma; mientras que la provincia Ciego de Ávila fue uno de los segundos peores casos (Centella *et al*. 2006).

Los daños ocasionados por esta sequía fueron considerables para el país, el gasto producido por estos en 2005 (solo a los agricultores cubiertos por el ramo de seguros de bienes agropecuarios) fueron diez veces mayor a la media de los gastos del período 1991-1997 (Solano *et al*., 2006). En Cuba se presta cuidadosa atención a los repetidos y desfavorables eventos de sequía que combinados con altas tasas de evaporación causan el agotamiento de los suelos y la disminución de las reservas de agua subterráneas, las que son de vital importancia en especial para la provincia Ciego de Ávila. La primera versión del Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía (SNVS) del INSMET fue conformada por Lapinel *et al*. (1993) y Lapinel *et al*. (1998), basada en el uso de los deciles, método que es utilizado desde la década de 1960 a la actualidad por el Servicio Meteorológico Australiano. En la actualidad, se destacan los estudios de Centella *et al*. (2001); Centella *et al*. (2006); Solano *et al*. (2006) y Cutié *et al*. (2013); sin embargo, dos de los más actuales pertenecen a Otero y Barcia (2018) y Barcia *et al*. (2019).

Otero y Barcia (2018) realizan un análisis a escala provincial del comportamiento de la sequía meteorológica en el período 2000-2017, empleando el Índice Estandarizado de Precipitación, SPI, y Barcia *et al*. (2019) enfocan su estudio a la caracterización e impacto de la sequía meteorológica ocurrida entre el 2014 y el 2017 en la provincia de Cienfuegos, al igual que el anterior estudio se empleó el SPI.

La novedad principal del estudio radica en la realización del análisis de la sequía meteorológica en la provincia Ciego de Ávila, fortaleciendo el conocimiento del tema y favoreciendo así el perfeccionamiento de la provincia, para tomar decisiones respecto a este fenómeno extremo. Por lo antes mencionado, el objetivo principal del estudio es caracterizar el comportamiento de la sequía meteorológica en la provincia Ciego de Ávila durante el período 2014-2017.

Severidad, magnitud y extensión geográfica son los parámetros utilizados para caracterizar la sequía, e innumerables han sido los índices creados para su descripción, aunque la mayoría no siempre son adecuados y funcionales para todo tiempo y lugar, lo que muestra la complejidad y desconocimiento del fenómeno.

En diciembre de 2009, en el marco de la última Conferencia Internacional sobre Sistemas de Alerta Temprana e Índices de Sequía, desarrollada en Nebraska, Estados Unidos, y publicada por la OMM (Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas), se definió el SPI como indicador para la vigilancia de sequías meteorológicas. Además de otros indicadores como la distribución espacial de las precipitaciones y las anomalías de la precipitación.

MATERIALES, DATOS Y MÉTODOS

Zona de estudio

La provincia Ciego de Ávila está ubicada en la parte central de la isla de Cuba, limitando al oeste con la provincia de Sancti Spíritus, al norte con el Canal Viejo de las Bahamas, al este con la provincia Camagüey y al sur con el Golfo de Ana María. Esta ocupa el séptimo lugar en extensión territorial entre las provincias del país con 6.946,9 km², representando el 6,3 % de la superficie del país (Figura 1).

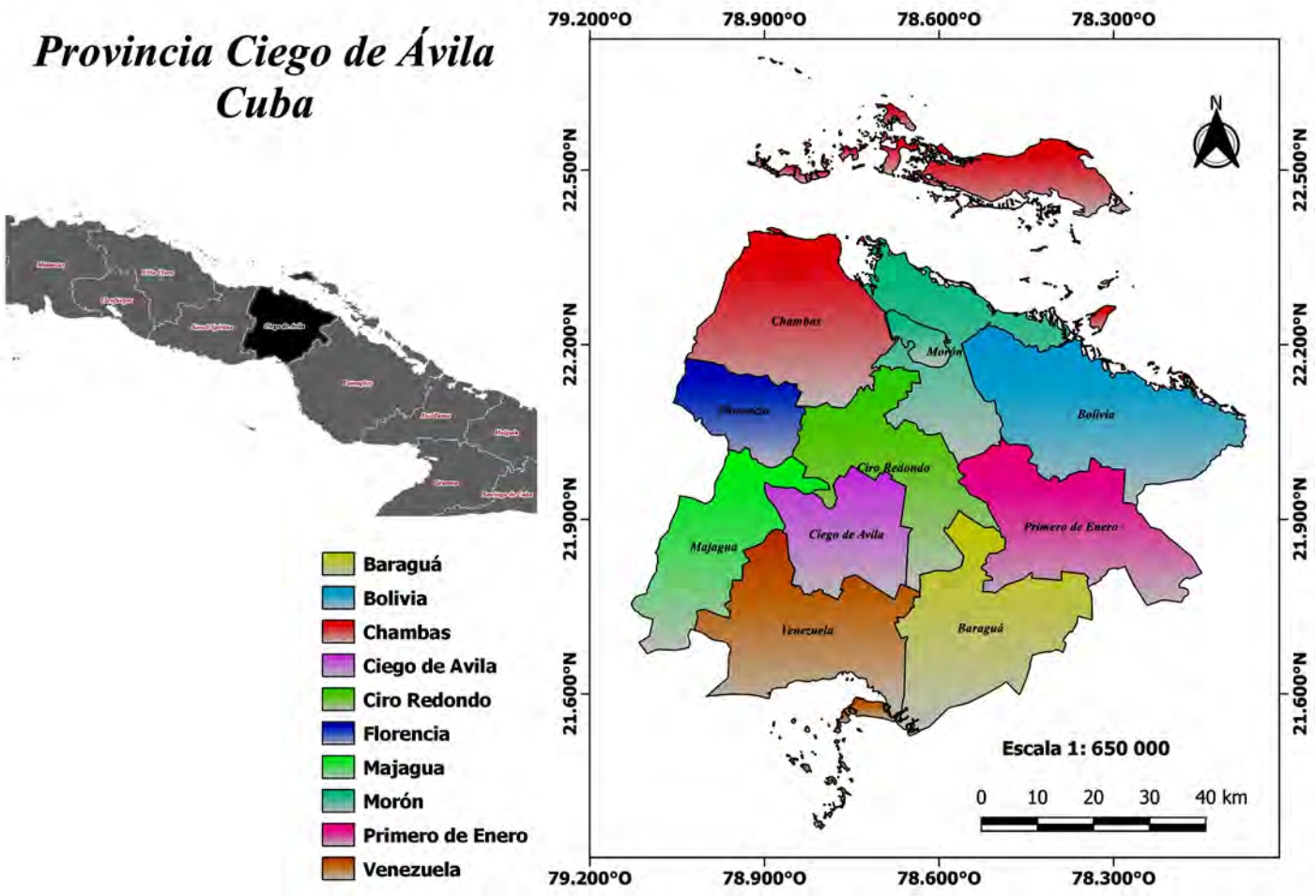


Figura 1: Ubicación geográfica de la provincia Ciego de Ávila, Cuba.

La provincia posee un relieve predominantemente llano (Figura 2), ocupando la mayor parte de su superficie la Llanura de Júcaro-Morón, la cual es interrumpida por pequeñas elevaciones aisladas como la Loma de Cunagua (332 m), Loma La Carolina (84 m) y Loma de Turiguanó (105 m). Al oeste de la provincia se encuentran los extremos orientales de las llanuras de Sancti Spíritus, hacia el centro-oeste de la provincia a la Sierra de Jatibonico, la cual posee las alturas culminantes del territorio con 442 m. Las costas de la provincia en su totalidad están formadas por llanuras planas y está presente una plataforma insular ancha bordeada en el extremo exterior por cayos, al norte el archipiélago de Sabana-Camagüey y al suroeste el archipiélago Jardines de la Reina.

Su sistema hidrográfico está constituido por 12 cuencas hidrográficas, tres de las cuales son de gran interés provincial. El Itabo con 522 km² es la mayor, se destaca además la cuenca Chambas con 376 km².

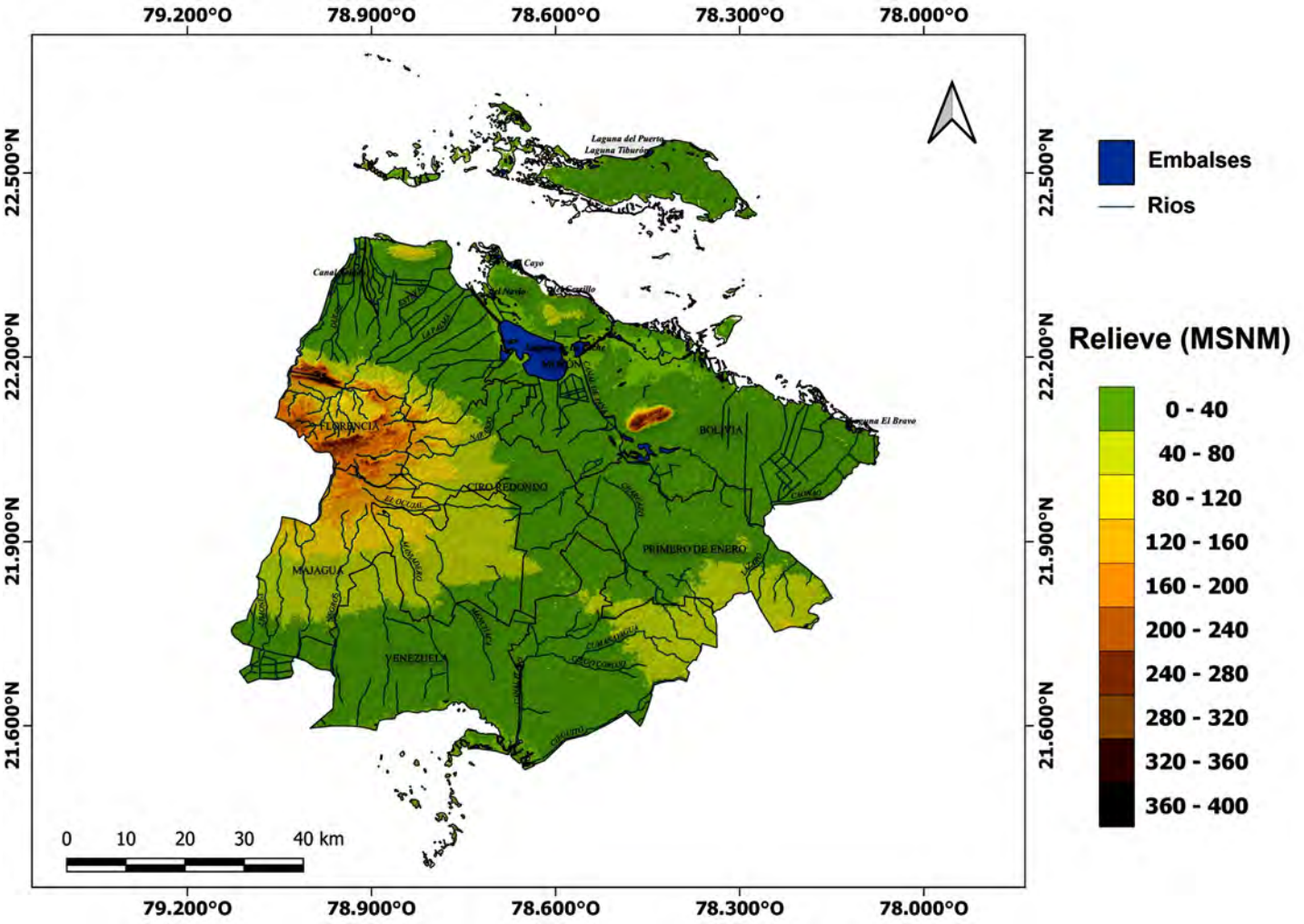


Figura 2: Relieve e hidrografía de la provincia Ciego de Ávila, Cuba.

Sus principales lagunas son la de La Leche (67 km²), que es la mayor del país y La Redonda (5 km²). El mayor embalse es el Hidroconjunto Liberación de Florencia. Los principales ríos de la región son el de Majagua con 72 km y el de Chambas con 68 km de longitud.

Resulta evidente la pobreza en cuanto a las aguas superficiales, por lo que se hace necesario el uso como fuente de abasto de las aguas subterráneas. La cuenca norte posee una capacidad de 148,8 millones de m³/año, en el caso de la cuenca sur su capacidad es de 90 millones de m³/año; esta agua se encuentra a una profundidad de 3 a 5 m en la parte norte y a más de 12 m en la parte sur.

Metodología

Gran variedad de índices se ha desarrollado para la cuantificación de la sequía. El PDSI, Índice de Severidad de Palmer (Palmer, 1965; Alley, 1984) y el SPI (McKee *et al.*, 1993; Guttman, 1999) son dos de los índices más utilizados, y que permiten monitorear las condiciones de sequía y proporcionar información actualizada sobre regiones afectadas. Existen otros índices que se han desarrollado en pos de cuantificar la sequía e identificar la severidad de la misma; ejemplos de esto son: Rainfall Anomaly Index (RAI) (Van Rooy, 1965); Bhalme and Mooly Drought Index (BMDI) (Bhalme & Mooley, 1980); Resiliency-Reliability-Vulnerability (RRV), que fue introducido por primera vez por Loucks (1997), referenciado luego por Panaou (2018); Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) (Vicente-Serrano *et al.*, 2010); Effective Drought Index (EDI) (Byun & Wilhite, 1999); y Drought Frequency Index

(DFI) (González y Valdés, 2006). La caracterización de la sequía en una zona determinada es muy útil, tanto para definir sistemas de alerta temprana (Kogan, 2000), como para la planificación y gestión de los recursos hídricos (Zargar *et al.*, 2011).

McKee *et al.* (1993) desarrollaron el SPI para cuantificar el déficit de precipitaciones durante múltiples escalas temporales. El impacto de la sequía sobre la disponibi -lidad de los diferentes recursos hídricos es mostrado por estas escalas de tiempo. El SPI es calculado ajustando la distribución de frecuencia de la precipitación de un lugar dado, en la escala de tiempo de interés, con una función teórica de densidad de probabilidad. De acuerdo con varios autores (Thorn, 1966; Young, 1992; Lloyd-Hughes & Saunders, 2002) la función más apropiada para este ajuste es la Gamma, aunque ésta ofrece algunas dificultades en las zonas de muy poca precipitación debido a que no se encuentra definida para valores de la variable iguales a 0. La función de densidad es luego transformada a una distribución normal estandarizada (con media igual a 0 y varianza igual a 1), siendo el SPI el valor resultante de esta transformación. Este índice representa el número de desviaciones estándar en que el valor transformado de la precipitación se desvía del promedio histórico (el cual queda representado por 0). Los valores negativos del SPI representan déficit de precipitación y, contrariamente, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida ha sido superior al promedio histórico (Otero y Barcia, 2018).

Se utilizan los tonos de color verde para identificar los excesos de lluvia (valores positivos de las precipitaciones), los cuales varían desde 0,5 hasta valores mayores o iguales a 2. Los tonos de color amarillo hasta el rojizo para indicar los déficits en las precipita-ciones, es decir, los valores negativos que varían desde -0,5 hasta -2 o valores inferiores a este. Finalmente, para los valores cercanos a lo normal se utiliza el color blanco (Tabla 1). Es conveniente señalar que estas categorías son ajustadas según objetivos específicos.

Descripción	SPI
Humedad Extrema	>= 2,0
Humedad Severa	1,50 a 1,99
Humedad Moderada	1,0 a 1,49
Humedad Débil	0,50 a 0,99
Normal	- 0,49 a 0,49
Sequía Débil	-0,99 a -0,50
Sequía Moderada	-1,49 a -1,0
Sequía Severa	-1,99 a -1,50
Sequía Extrema	<= -2,0

Tabla 1. Escala utilizada para el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).

Uno de los principales indicadores del comportamiento de la precipitación en un período y lugar determinado es la anomalía de la precipitación, parámetro que mide la desviación en porcentaje de la precipitación de un período determinado respecto al valor medio histórico del período de referencia (se considera la Norma 1971-2000 del INSMET). Las Anomalías de la Precipitación (AP) muestran que tan lejos está la precipitación registrada, tanto por debajo o por encima del valor medio o normal considerado; la variabilidad climática y los posibles cambios climáticos son evaluados por este indicador, las mismas pueden ser tomadas como indicador de sequías meteorológicas; lugares que pudieron sufrir sequías capaces de impactar las activi-

dades socioeconómicas pueden ser determinadas por este indicador (AP por debajo del 90%). Las AP relacionan de forma porcentual el valor de la precipitación total anual contra la precipitación promedio multianual. Cuando los valores del índice se alejan del 100% se puede decir que existe AP; aquellos valores que se encuentran por debajo del 60% (González & Casallas, 2014), se clasifican como deficiencia.

Las AP se clasifican en siete rangos de valores distribuidos desde muy por encima de lo normal hasta muy por debajo de lo normal (Tabla 2).

AP en %	Descripción
0-29	Muy por debajo de lo normal
30-59	Moderadamente por debajo de lo normal
60-89	Ligeramente por debajo de lo normal
90-109	Normal
110-139	Ligeramente por encima de lo normal
140-169	Moderadamente por encima de lo normal
>170	Muy por encima de lo normal

Tabla 2. Escala utilizada para clasificar las Anomalías de Precipitación (AP).

Este indicador solo es utilizado para establecer sequías meteorológicas como es en el caso de estudio.

Las anomalías que se catalogan como «ligeramente por debajo de lo normal», en lugares con altos niveles de vulnerabilidad pueden ocasionar algunos impactos negativos; son ejemplo de ello, áreas deforestadas con suelos superficiales o zonas muy pobres, donde no se pueden adoptar medidas para mitigar los efectos de la deficiencia en precipitación. Las AP que presentan características de «moderadamente por debajo de lo normal» pueden implicar, para el normal progreso de los cultivos en áreas no vulnerables, el uso de riego además del ahorro del agua para evitar graves impactos en la población. Las catalogadas de «muy por debajo de lo normal» impactan fuertemente todas las actividades socioeconómicas.

Similar al resto de indicadores desarrollados para monitorear la sequía, estos presentan debilidades durante los meses del período poco lluvioso, donde las precipitaciones medias son muy bajas o nulas, por lo cual, cantidades pequeñas de estas, pueden dar lugar a valores altos de la anomalía de precipitación, sin que ello signifique cambios significativos en la precipitación.

Fuentes

Se utilizaron como datos para el análisis las salidas del SNVS (Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía), los cuales dividen la provincia en una rejilla de 4x4 km, complementando un total de 492 puntos (Figura 3). Esta rejilla fue construida con el apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), interpolando valores de precipitación provenientes de estaciones pluviométricas, las cuales fueron certificadas por el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) en el 2005. Estos datos representan la información de 60 años de la variable precipitación, distribuidos entre 1961 y el 2020 (Valero *et al.*, 2021).

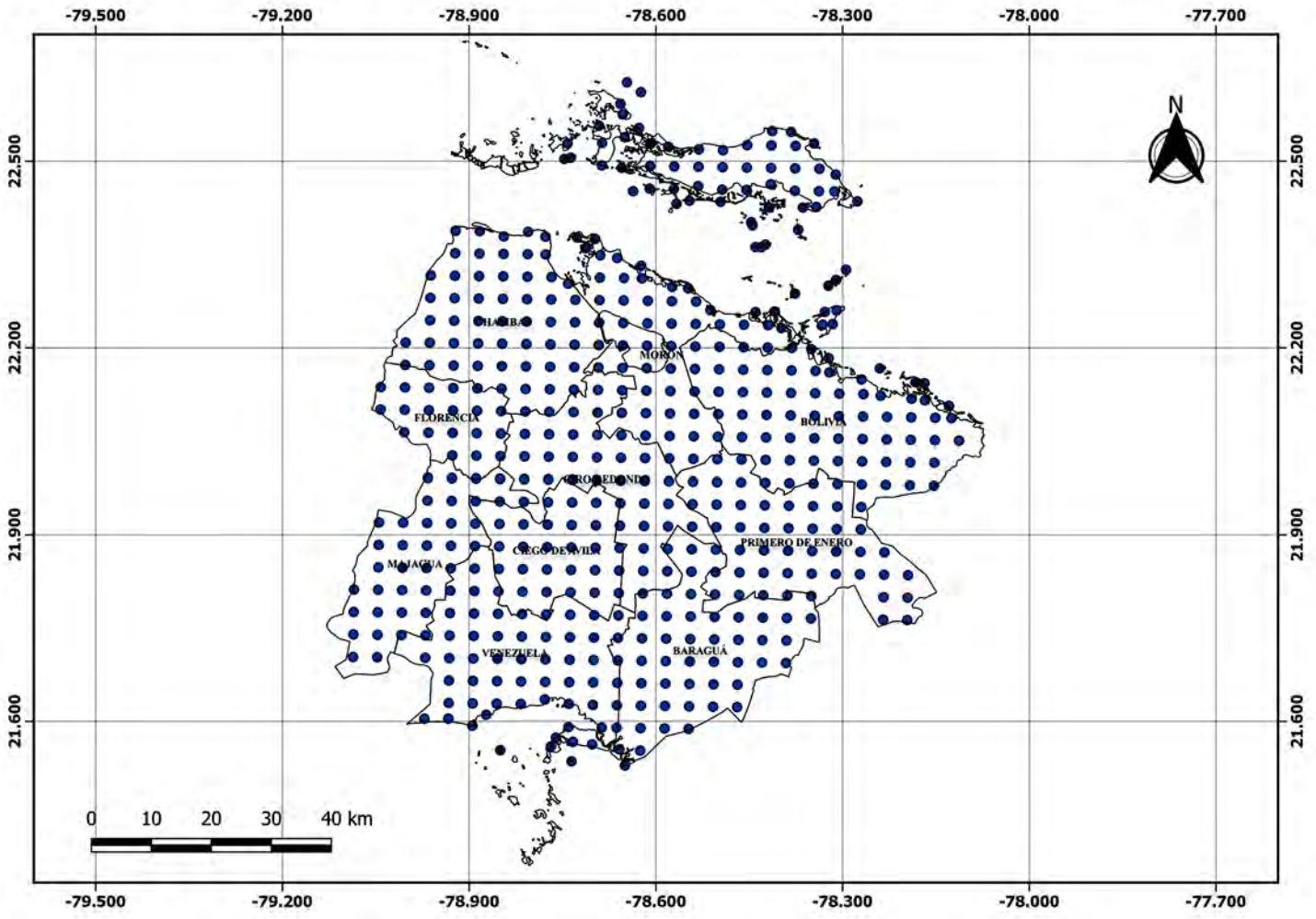


Figura 3. Red de puntos utilizados en el estudio.

Los mapas que se presentan se confeccionaron utilizando el software QGIS, en su versión 3.16.1, Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android; todos estos a partir del método de Interpolación de Distancia Inversa Ponderada o IDW (por sus siglas en inglés).

RESULTADOS

Características de la sequía meteorológica ocurrida durante el período 2014-2017 en la provincia Ciego de Ávila

Este extenso evento de sequía se prolongó durante 42 meses (un total de 7 períodos estacionales) e impuso pérdidas por déficit de precipitaciones en la provincia de forma muy marcada. La distribución de las precipitaciones en Ciego de Ávila expresadas mediante el SPI (Figura 4) en períodos de 6 meses (SPI-6), muestran el comportamiento de las precipitaciones en los períodos estacionales lluviosos y poco lluviosos.

Desde junio de 2014, la provincia experimentó un aumento de los déficits de lluvia, principalmente en su zona noroeste. Un 9,3 % del territorio mostró déficits de las precipitaciones, de este porcentaje, un 7,5 % se clasificó como de sequía débil, un 1,6 % como sequía moderada y un 0,2 % como severa. Específicamente, fueron

los municipios de Chambas y Florencia los que presentaron condiciones desfavorables, y al igual que estos, los cayos al norte de la provincia presentaron déficits de precipitaciones (Apéndice 1). El período poco lluvioso que le sucedió (noviembre 2014 a abril 2015) mostró a la provincia con afectaciones por sequía meteorológica de hasta un 74,5 % (Figura 5) del área total, siendo esta la segunda de mayor extensión territorial; un 58,5 % se caracterizó como sequía débil, un 13,2 % como sequía moderada, un 2,6 % de sequía severa y un 0,2 % como extrema. Los cayos al norte de la provincia (Cayo Coco y Guillermo) fueron los de mayor afectación con el 100 % del área bajo condiciones de sequía meteorológica; los tres municipios con mayor área de afectación durante este período poco lluvioso fueron Chambas, Bolivia y Morón.

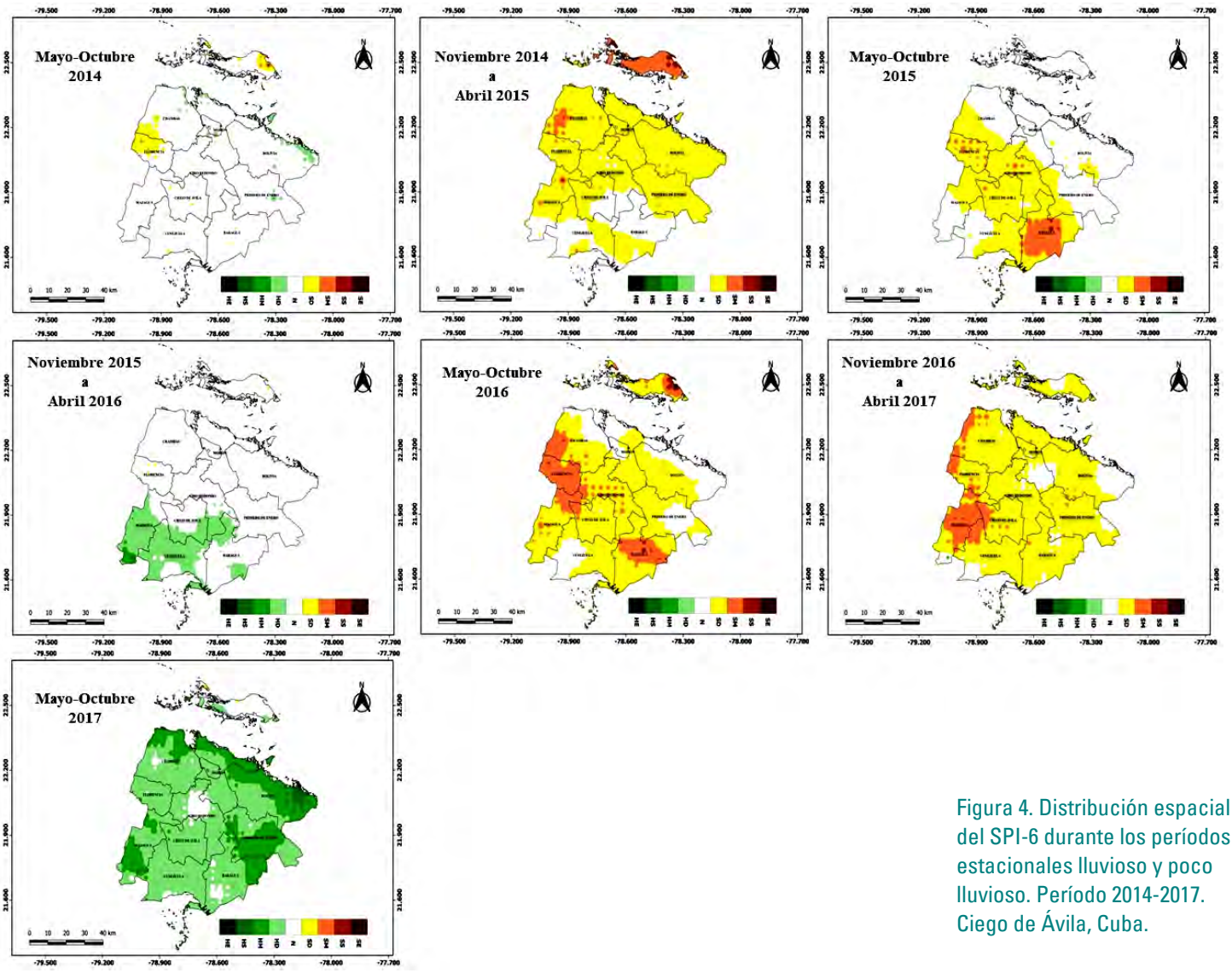


Figura 4. Distribución espacial del SPI-6 durante los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso. Período 2014-2017. Ciego de Ávila, Cuba.

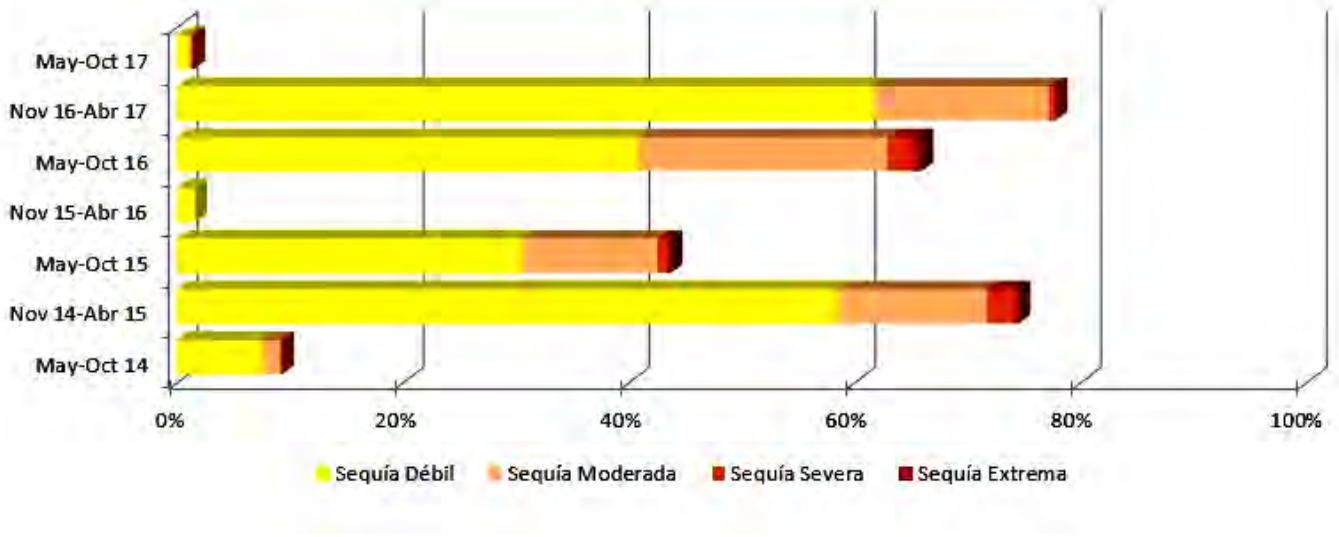
En el período mayo a octubre 2015 fue afectado un 43,7 % del territorio, los municipios más afectados durante todo este semestre fueron Florencia, con el 100 % de su territorio bajo condiciones de sequía meteorológica, Baraguá fue el segundo con mayor área afectada con un 91,6 % y Ciro Redondo con el 90,6 %.

El semestre siguiente, noviembre 2015 a abril 2016, mostró valores acumulados por encima de lo normal. El fuerte evento El Niño Oscilación del Sur (ENOS),

que se presentó en la mayor parte del año 2015 y principios del 2016, influenció de manera positiva a las lluvias ocurridas en el trimestre noviembre 2015 a enero 2016. Esto logró revertir la situación que presentaba la provincia de forma parcial. A partir de febrero del 2016 las lluvias comenzaron a disminuir drásticamente presentando déficits muy grandes durante el trimestre febrero a abril de 2016.

Las condiciones de sequía volvieron a intensificarse para el período mayo a octubre de 2016, siendo este el tercero de mayor extensión territorial (65,9 %); al finalizar este semestre, la provincia mostró un 40,8 % de su territorio bajo condiciones de sequía débil, un 22,1 % como sequía moderada, un 2,2 % como severa y un 0,8 % como extrema. Los municipios con mayor área afectada por la sequía meteorológica fueron Florencia y Ciro Redondo.

Figura 5. Porcentaje de área afectada en la provincia Ciego de Ávila según el SPI-6, durante el período (2014-2017).



Para el período poco lluvioso de noviembre 2016 a abril 2017, las condiciones se intensificaron aún más en la provincia, llegando a ser este el de mayor extensión bajo condiciones de sequía meteorológica, con un 77,8 % del territorio afectado. Los municipios Ciego de Ávila y Majagua durante este período presentaron 100 % de su territorio con déficits de precipitaciones como expresa el SPI-6, y el municipio de Florencia con un 95,0 %, siendo este el tercero más afectado (Apéndice 2).

Durante los meses de mayo, junio, julio y agosto de 2017, esta desfavorable situación se mantuvo en la provincia; hasta que cambió drásticamente debido a la influencia de las lluvias intensas ocasio-nadas tras el paso del Huracán Irma por el territorio avileño en septiembre de 2017.

Análisis espacial de las lluvias en la provincia Ciego de Ávila expresadas por las Anomalías de la Precipitación durante el evento de sequía meteorológica 2014 -2017

- Período lluvioso

En el archipiélago cubano, las precipitaciones ocurren debido a procesos diferentes a escala sinóptica, las cuales varían en dependencia de la época del año, mostrándose dos estaciones bien contrastadas: período lluvioso (mayo a octubre) y período poco lluvioso (noviembre a abril).

En la provincia de Ciego de Ávila, la cual es objeto de estudio, los acumulados medios de las precipitaciones logran alcanzar los 951,2 mm durante el período estacional lluvioso (Figura 6).

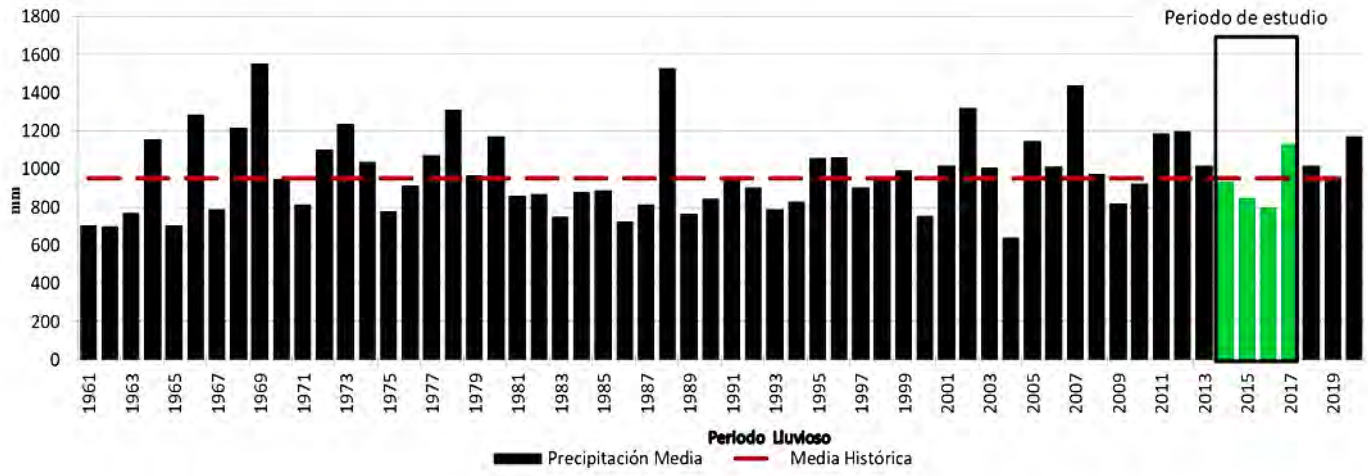


Figura 6. Comportamiento de las precipitaciones (mm) del período estacional lluvioso (1961-2020).

Durante el período lluvioso de mayo a octubre 2014, un 16,0 % del territorio presentó AP por debajo de la media histórica (Tabla 3). La región con mayor área por debajo de lo normal fueron los Cayos Coco y Guillermo; y el municipio con mayor porción del territorio por debajo de la media fue Chambas (Apéndice 3).

El período estacional de mayo a octubre de 2015 (Figura 7) mostró a la provincia Ciego de Ávila con más del 50 % de su territorio con sus AP por debajo de la media (58,3 %). Los municipios de la provincia con mayor afectación fueron Bolivia, con un 100 % del territorio clasificado como ligeramente por debajo de lo normal, Baraguá con un 81,3 % y Morón con un 81,2 %, ambos clasificados como ligeramente por debajo de lo normal. Durante el período lluvioso (mayo a octubre 2016) un 72,9 % del territorio manifestó las AP por debajo de lo normal, siendo este el período lluvioso con mayor extensión territorial clasificado por debajo de la media histórica durante la serie 2014-2017; de este, un 70,9 % se caracterizó como ligeramente por debajo de lo normal y un 2,0 % como moderadamente por debajo de lo normal. Los cayos al norte de la provincia presentaron un 81,5 % de su territorio clasificado como ligeramente por debajo de lo normal y un 18,5 % como moderadamente por debajo de lo normal para un 100 % del territorio con AP por debajo de la media histórica; con un 100 % de su territorio igualmente clasificado por debajo de la media. No obstante, con menor intensidad estuvieron los municipios de Chambas y Bolivia, y con un 95,8 % el municipio de Morón.

El período estacional de mayo a octubre 2017, solo presentó a la provincia Ciego de Ávila con un 4,5 % de su territorio con precipitaciones por debajo de la media histórica, y de este, los únicos territorios que presentaron AP por debajo de la media fueron los Cayos Coco y Guillermo, con un 42,6 % de su territorio, de este porcentaje un 38,9 % clasificado como ligeramente por debajo de lo normal y un 3,7 % clasificado como moderadamente por debajo de lo normal y el municipio Chambas con un 1,9 % de su territorio con condiciones por debajo de lo normal.

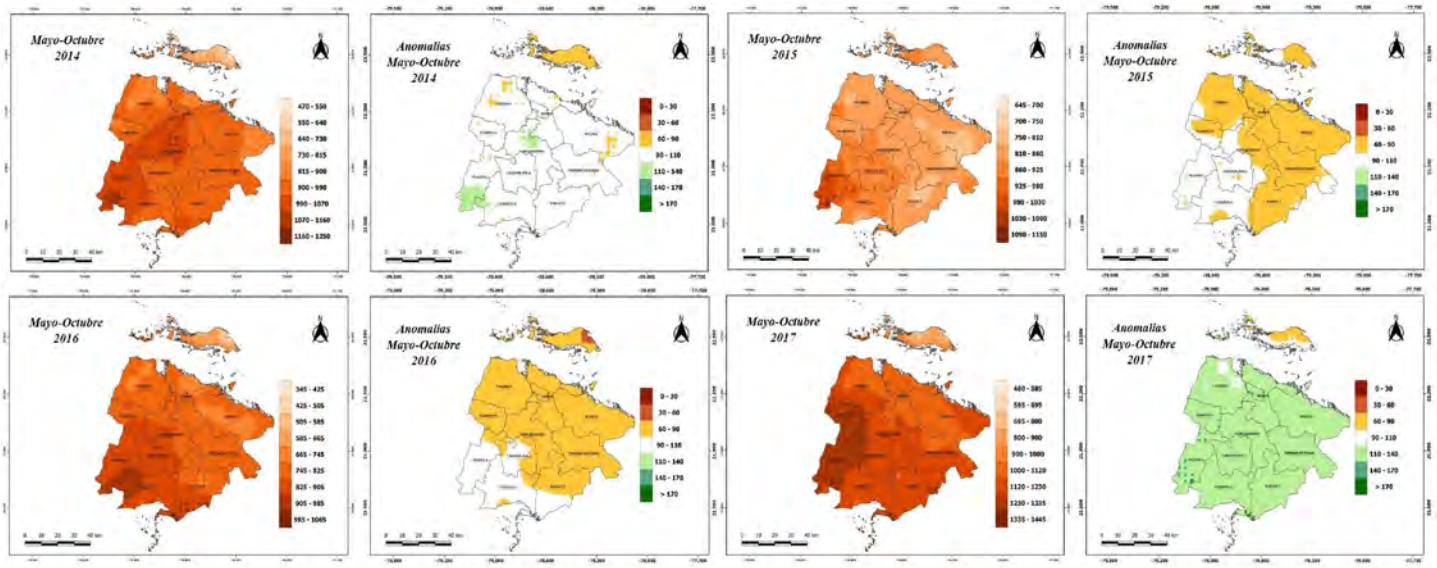


Figura 7. Distribución espacial de las precipitaciones (mm) y las AP (%) durante los períodos lluviosos en Ciego de Ávila. Cuba (2014-2017).

Provincia	Período	Lig. DN	Mod. DN	MDN	Total
Ciego de Ávila	May-Oct 2014	15,2	0,8	–	16,0
	May-Oct 2015	58,3	–	–	58,3
	May-Oct 2016	70,9	2,0	–	72,9
	May-Oct 2017	4,5	–	–	4.5

Tabla 3. Porcentaje de área afectada en la provincia Ciego de Ávila según las AP, durante el período 2014-2017.

- Período poco lluvioso

Durante el período estacional poco lluvioso, de noviembre a abril, en la provincia de Ciego de Ávila, los acumulados medios de las lluvias alcanzan los 281,8 mm (Figura 8), al analizarlos durante el evento de sequía meteorológica de 2014-2017 se observa lo siguiente:

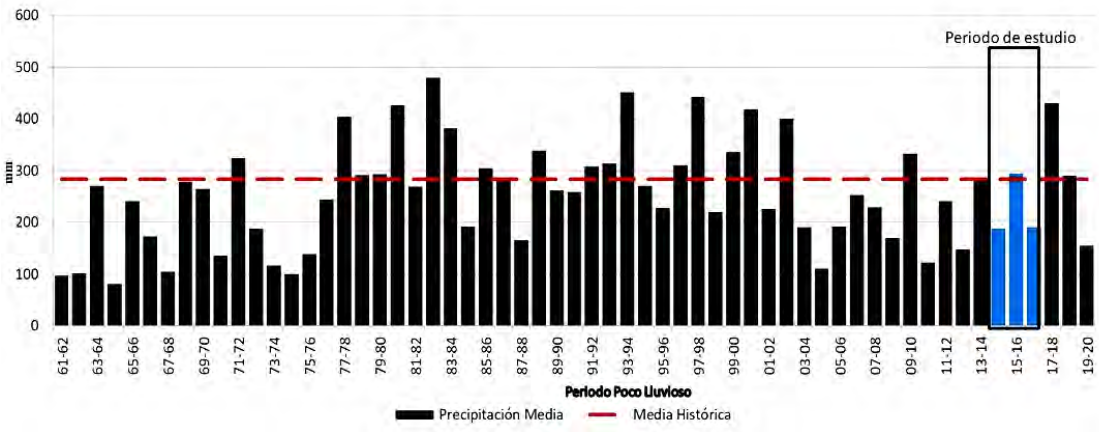


Figura 8. Comportamiento de las precipitaciones (mm) del período estacional poco lluvioso (1961-2020).

El período estacional poco lluvioso de noviembre 2014 a abril 2015, se comportó en casi la totalidad del territorio por debajo de la media histórica (98,8 %) (Tabla 4), de los diez municipios que conforman a la provincia, cinco de estos manifestaron el 100 % de su territorio con anomalías por debajo de la media, Morón, Baraguá, Majagua, Venezuela y Primero de Enero, además de la región de los Cayos Coco y Guillermo (Apéndice 4).

Durante el período noviembre 2015 a abril 2016, solo un 7,9 % del territorio se caracterizó por estar bajo la media histórica (Figura 9), las lluvias ocurridas en el trimestre noviembre 2015 a enero 2016 lograron revertir las condiciones en las que se encontraba la provincia, estuvieron influenciadas por el evento El Niño Oscilación del Sur (ENOS) fuerte, que estuvo presente la mayor parte del año 2015 y principios del 2016 como se explicó anteriormente.

El período estacional poco lluvioso de noviembre 2016 a abril 2017 fue el segundo durante el evento de sequía meteorológica de 2014-2017, con mayor afectación al territorio por su extensión (solo superado por el período poco lluvioso de noviembre 2014 a abril 2015), pero el más intenso según lo expresado por las AP. Un 97,5 % del área total del territorio avileño presentó condiciones por debajo de lo normal. Cinco de los diez municipios de la provincia se clasificaron por debajo de la media histórica: Chambas, Baraguá, Ciego de Ávila, Venezuela y Ciro Redondo.

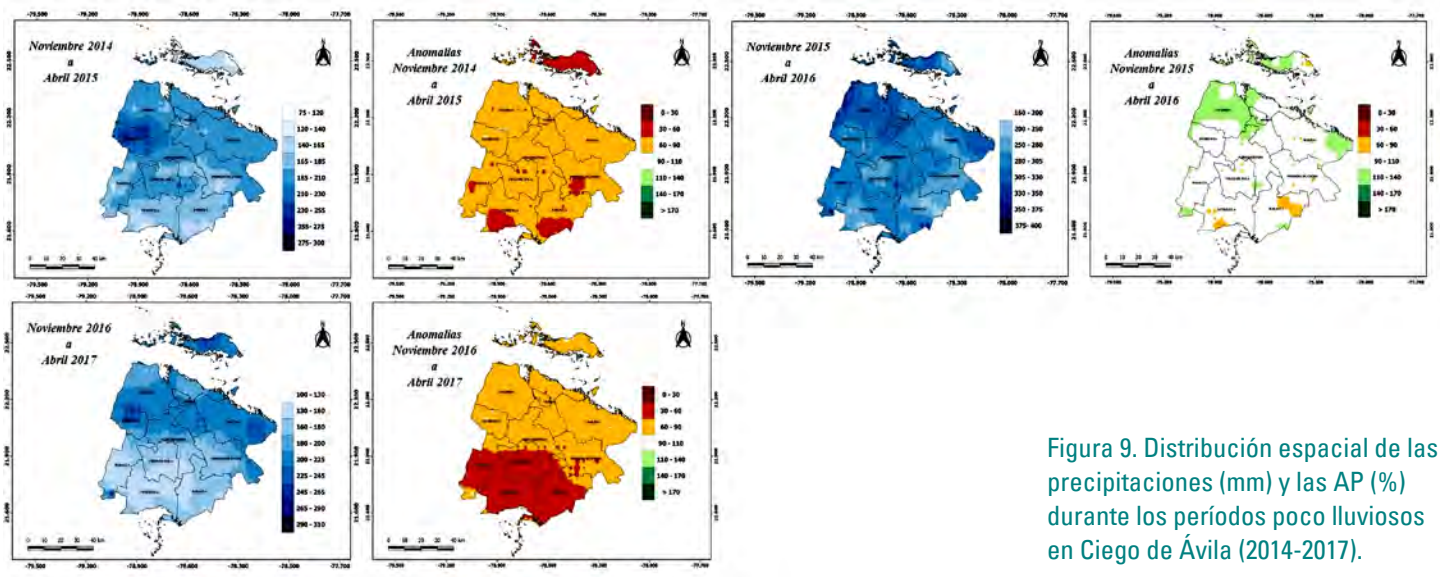


Figura 9. Distribución espacial de las precipitaciones (mm) y las AP (%) durante los períodos poco lluviosos en Ciego de Ávila (2014-2017).

Provincia	Período	Lig. DN	Mod. DN	MDN	Total
Ciego de Ávila	Nov 14-Abr 15	80,3	18,5	–	98,8
	Nov 15-Abr 16	7,7	0,2	–	7,9
	Nov 16-Abr 17	65,4	32,1	–	97,5

Tabla 4. Porcentaje de áreas por debajo de lo normal en la provincia Ciego de Ávila, durante los períodos poco lluviosos (2014-2017).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el extenso evento de sequía iniciado en mayo de 2014 y prolongado durante 42 meses (un total de 7 períodos estacionales), los tres períodos estacionales de mayor extensión territorial y de mayor intensidad expresados por el SPI-6 fueron noviembre 2014 a abril 2015, mayo a octubre 2016, y noviembre 2016 a abril 2017, coincidiendo con los mayores déficits registrados en la región central del país, el más crítico fue el semestre noviembre 2016 a abril 2017. Este período estacional estuvo caracterizado en Cuba por severos déficits de precipitaciones que revistieron casi el 70 % del mismo, siendo las regiones occidental y central las más afectadas (BVC, 2017). Los territorios más afectados por la sequía (expresados por el SPI-6) dentro de la provincia fueron los municipios de Ciego de Ávila y Majagua (BVC-CAV, 2017), aunque cinco de los municipios de la provincia se clasificaron por debajo de la media histórica en su totalidad según las AP, coincidiendo con el SPI-6, en que los más afectados fueron los municipios antes mencionados.

No obstante, para Cuba el período estacional lluvioso más crítico fue el del 2015, se caracterizó por mostrar déficits importantes en los meses de mayo a julio, provocando que al finalizar el mismo la mitad del país estuviese afectado por la sequía meteorológica, siendo la región occidental y central las más afectadas (BVC, 2015).

Gracias al monitoreo constante por parte del SNVS de este intenso y extenso evento de sequía meteorológica, permitió alertar a las autoridades para que se pudieran tomar las medidas oportunas para tratar de disminuir sus impactos.

La provincia puso en práctica un plan de 60 medidas, entre las que estuvieron la construcción de conductoras, la sectorización del agua en comunidades y poblados donde la distribución del recurso es permanente, y la ejecución de 14 nudos y 24 registros pitométricos con el fin de operar con mayor eficiencia y mejorar las presiones de agua en el acueducto de la ciudad cabecera.

Otra iniciativa fue la perforación y puesta en funcionamiento de más de 2.000 pozos para el suministro de agua a los rebaños, tanques en los ríos y arroyos que hasta ese momento disponían del preciado líquido, además del empleo de unos 600 molinos de viento y centenares de electrobombas.

El 90 % del agua consumida por la población, la industria y la agricultura en la provincia se extrae de los 15 sectores hidrológicos existentes en el subsuelo, como indica el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), los cuales estaban en un estado muy deprimido ya que el manto freático, uno de los de mayor volumen del país, con 808 millones de metros cúbicos, mostraban, a finales de julio del 2017, un 40% de llenado.

Esta sequía meteorológica también afectó a partes del Caribe, América Central y el noroeste de América del Sur en 2015 y principios de 2016, según el análisis realizado por la OMM (2016). No solo en nuestra área se mostró evidencia de este evento de sequía, países como España enfrentaron y catalogaron a esta como una de las más graves de la historia (RNG, 2017).

Para los próximos años se establecen grandes incertidumbres en las predicciones climáticas en cuanto al comportamiento del régimen de precipitaciones. Pese a ello, los modelos señalan que para las regiones del Caribe, las sequías serán más repetidas (Otero y Barcia, 2018). Ortega-Gaucin & Velasco (2013) analizaron el impacto de la sequía en México desde la perspectiva socioeconómica; a su vez Ortiz &

Ortega (2015) profundizaron los estudios del riesgo por sequía meteorológica en Michoacán (México) y su impacto agro-socioeconómico, partiendo desde una metodología que vincula la vulnerabilidad de un territorio con las predicciones climáticas. Se demuestra en el Corredor Seco Centroamericano como las vulnerabilidades ante la sequía de un espacio geográfico influyen directamente en la población, afectando grandes extensiones de terreno y disminuyendo así la producción de alimentos (Calvo-Solano *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

Es de gran interés que en Cuba se preste cuidadosa atención a los repetidos y perjudiciales eventos de sequía que al combinarse con altos valores de evaporación originan el agotamiento de los suelos y la reducción de las reservas de agua subterráneas, que son de vital importancia en especial para la provincia Ciego de Ávila.

Este trabajo analiza el evento de sequía meteorológica ocurrido en el período 2014-2017 a escala local en la provincia Ciego de Ávila (incluyendo sus Cayos Coco y Guillermo), con el fin de orientar a todos aquellos usuarios del agua (directivos, administradores del agua, gestores y regantes).

El uso del Índice Estandarizado de Precipitaciones (SPI) y el análisis de las Anomalías de la Precipitación (AP), permitió caracterizar el evento de sequía ocurrido en el período 2014-2017 que afectó a la provincia Ciego de Ávila, el cual presentó 7 períodos estacionales con déficit, de estos se identificaron los tres de mayor intensidad y extensión que azotaron a la provincia Ciego de Ávila: noviembre 2014 a abril 2015, mayo a octubre 2016 y noviembre 2016 a abril 2017, siendo este último el más crítico de los antes mencionados.

Todos aquellos resultados obtenidos durante el estudio permiten y contribuyen a acelerar el proceso de toma de decisiones ante futuros eventos de sequía a escala local, partiendo del conocimiento aportado y de su comportamiento espacial en la provincia durante este período. Este tipo de trabajo se puede generalizar a otras escalas locales como municipios y regiones de interés económico y social, y darle un enfoque en el estudio de las vulnerabilidades frente a situaciones de desastres.

APÉNDICE 1

Porcentaje de área afectada por la sequía meteorológica durante los períodos estacionales lluviosos 2014-2017 expresada por el SPI en los municipios de la provincia Ciego de Ávila, Cuba.

Municipio	Período	SD	SM	SS	SE	Total
Chambas	May-Oct 2014	16,7 %	1,8 %	–	–	18,5 %
	May-Oct 2015	33,3 %	5,5 %	–	–	38,8 %
	May-Oct 2016	31,5 %	31,5 %	1,8 %	–	64,8 %
	May-Oct 2017	1,8 %	–	–	–	1,8 %
Baraguá	May-Oct 2014	10,4 %	–	–	–	10,4 %
	May-Oct 2015	37,5 %	43,7 %	8,3 %	2,1 %	91,6 %
	May-Oct 2016	54,2 %	25,0 %	10,4 %	2,1 %	91,7 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0,0 %
Florencia	May-Oct 2014	50,0 %	15,0 %	–	–	65,0 %
	May-Oct 2015	25,0 %	75,0 %		–	100 %
	May-Oct 2016	5,0 %	85,0 %	10,0 %	–	100 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Ciego de Ávila	May-Oct 2014	7,1 %	–	–	–	7,1 %
	May-Oct 2015	71,4 %	14,3 %		–	85,7 %
	May-Oct 2016	71,4 %	21,4 %	–	–	92,8 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Majagua	May-Oct 2014	–	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	50,0 %	3,3 %	–	–	53,3 %
	May-Oct 2016	43,3 %	53,3 %	–	–	96,6 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Morón	May-Oct 2014	–	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	8,3 %	–	–	–	8,3 %
	May-Oct 2016	37,5 %	2,1 %	–	–	39,6 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Venezuela	May-Oct 2014	3,6 %	–	–	–	3,6 %
	May-Oct 2015	44,6 %	7,1 %	–	–	51,7 %
	May-Oct 2016	55,3 %	1,8 %	–	–	57,1 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Bolivia	May-Oct 2014	1,5 %	–	–	–	1,5 %
	May-Oct 2015	18,2 %	1,5 %	–	–	19,7 %
	May-Oct 2016	39,4 %	7,6 %	–	–	47,0 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Primero de Enero	May-Oct 2014	–	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	31,8 %	–	–	–	31,8 %
	May-Oct 2016	54,5 %	–	–	–	54,5 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Ciro Redondo	May-Oct 2014	–	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	59,4 %	28,1 %	3,1 %	–	90,6 %
	May-Oct 2016	37,5 %	62,5 %	–	–	100 %
	May-Oct 2017	–	–	–	–	0 %
Cayo Cocos Cayo Guillermo	May-Oct 2014	14,8 %	7,4 %	–	–	22,2%
	May-Oct 2015	–	–	–	–	0 %
	May-Oct 2016	25,9 %	22,2 %	5,5 %	5,5 %	59,1 %
	May-Oct 2017	7,4 %	–	1,8 %	–	9,2 %

APÉNDICE 2

Porcentaje de área afectada por la sequía meteorológica durante los períodos estacionales poco lluviosos 2014-2017 expresada por el SPI en los municipios de la provincia Ciego de Ávila, Cuba

Municipio	Período	SD	SM	SS	SE	Total
Chambas	Nov 14-Abr 15	64,8 %	29,6 %	1,8%	–	96,2 %
	Nov 15-Abr 16	1,8 %	–	–	–	1,8 %
	Nov 16-Abr 17	59,2 %	29,6 %	–	–	88,8 %
Baraguá	Nov 14-Abr 15	29,2 %	2,1 %	–	–	31,3 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	64,6 %	4,2 %	–	–	68,8 %
Florencia	Nov 14-Abr 15	60,0 %	10,0 %	–	–	70,0 %
	Nov 15-Abr 16	20,0 %	–	–	–	20,0 %
	Nov 16-Abr 17	45,0 %	50,0 %	–	–	95,0 %
Ciego de Ávila	Nov 14-Abr 15	50,0 %	7,1 %		–	57,1 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	50,0 %	50,0 %	–	–	100 %
Majagua	Nov 14-Abr 15	56,7 %	10,0 %	3,3 %	–	69,7 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	30,0 %	60,0 %	6,7 %	–	96,7 %
Morón	Nov 14-Abr 15	91,7 %	2,1 %		–	93,8 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	66,7 %	4,2 %	–	–	70,9 %
Venezuela	Nov 14-Abr 15	35,7 %	3,6 %	–	–	39,3 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	53,6 %	12,5 %	1,8 %	–	67,9 %
Bolivia	Nov 14-Abr 15	87,9 %	7,6 %		–	95,5 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	53,0 %	6,1 %	–	–	59,1 %
Primero de Enero	Nov 14-Abr 15	79,5 %	4,5 %	–	–	84,0 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	65,9 %	11,4 %	–	–	77,3 %
Ciro Redondo	Nov 14-Abr 15	–	–	–	–	0 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	75,0 %	–	–	–	75,0 %
Cayo Coco Cayo Guillermo	Nov 14-Abr 15	24,1 %	53,7 %	20,4 %	1,8 %	100 %
	Nov 15-Abr 16	5,5 %	–	–	–	5,5 %
	Nov 16-Abr 17	88,9 %	–	–	–	88,9 %

APÉNDICE 3

Porcentaje de áreas por debajo de la norma en los municipios de la provincia Ciego de Ávila, Cuba, durante los períodos lluviosos 2014-2017

Municipio	Período	Lig.DN	Mod.DN	MDN	Total
Chambas	May-Oct 2014	22,2 %	–	–	22,2 %
	May-Oct 2015	74,1 %	–	–	74,1 %
	May-Oct 2016	100 %	–	–	100 %
	May-Oct 2017	1,9 %	–	–	1,9 %
Baraguá	May-Oct 2014	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	81,3 %	–	–	81,3 %
	May-Oct 2016	60 %	–	–	60,0%
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Florencia	May-Oct 2014	10,0 %	–	–	10,0%
	May-Oct 2015	55,0 %	–	–	55,0 %
	May-Oct 2016	75,0 %	–	–	75,0 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Ciego de Ávila	May-Oct 2014	–	–	–	0,0 %
	May-Oct 2015	10,7 %	–	–	10,7 %
	May-Oct 2016	25,0 %	–	–	25,0 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Majagua	May-Oct 2014	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	–	–	–	0 %
	May-Oct 2016	3,8 %	–	–	3,8 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Morón	May-Oct 2014	14,6 %	–	–	14,6 %
	May-Oct 2015	81,2 %	–	–	81,2 %
	May-Oct 2016	95,8 %	–	–	95,8 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Venezuela	May-Oct 2014	3,6 %	–	–	3,6 %
	May-Oct 2015	16,1 %	–	–	16,1 %
	May-Oct 2016	12,5 %	–	–	12,5 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Bolivia	May-Oct 2014	13,6 %	–	–	13,6 %
	May-Oct 2015	100 %	–	–	100 %
	May-Oct 2016	100 %	–	–	100 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Primero de Enero	May-Oct 2014	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	72,7 %	–	–	72,7 %
	May-Oct 2016	97,7 %	–	–	97,7 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Ciro Redondo	May-Oct 2014	–	–	–	0 %
	May-Oct 2015	59,4 %	–	–	59,4 %
	May-Oct 2016	90,6 %	–	–	90,6 %
	May-Oct 2017	–	–	–	0 %
Cayo Coco Cayo Guillermo	May-Oct 2014	77,8 %	7,4 %	–	85,2 %
	May-Oct 2015	48,1 %	–	–	48,1 %
	May-Oct 2016	81,5 %	18,5 %	–	100 %
	May-Oct 2017	38,9 %	3,7 %	–	42,6 %

APÉNDICE 4

Porcentaje de áreas por debajo de la norma en los municipios de la provincia Ciego de Ávila, Cuba, durante los períodos poco lluviosos 2014-2017

Municipio	Período	Lig.DN	Mod.DN	MDN	Total
Chambas	Nov 14-Abr 15	92,6 %	5,6 %	–	98,2 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	98,1 %	1,9 %	–	100 %
Baraguá	Nov 14-Abr 15	66,7 %	33,3 %	–	100 %
	Nov 15-Abr 16	18,8 %	–	–	18,8%
	Nov 16-Abr 17	18,7 %	81,3 %	–	100 %
Florencia	Nov 14-Abr 15	85,0 %		–	85 %
	Nov 15-Abr 16	20,0 %		–	20 %
	Nov 16-Abr 17	80,0 %		–	80,0 %
Ciego de Ávila	Nov 14-Abr 15	92,8 %	3,6 %	–	96,4 %
	Nov 15-Abr 16	14,3 %	–	–	14,3 %
	Nov 16-Abr 17	10,7 %	89,3 %	–	100 %
Majagua	Nov 14-Abr 15	88,5 %	11,5 %	–	100 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	11,5 %	84,6 %	–	96,1 %
Morón	Nov 14-Abr 15	95,8 %	4,2 %	–	100 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	95,8 %	2,1 %	–	97,9 %
Venezuela	Nov 14-Abr 15	73,2 %	25,0 %	1,8%	100 %
	Nov 15-Abr 16	16,1 %	1,8 %	–	17,9 %
	Nov 16-Abr 17	14,3 %	85,7 %	–	100 %
Bolivia	Nov 14-Abr 15	98,5 %	1,5 %	–	100 %
	Nov 15-Abr 16	6,1 %	–	–	6,1 %
	Nov 16-Abr 17	97,0 %	–	–	97,0 %
Primero de Enero	Nov 14-Abr 15	79,6 %	20,4 %	–	100 %
	Nov 15-Abr 16	6,8 %	–	–	6,8 %
	Nov 16-Abr 17	75,0 %	25,0 %	–	100 %
Ciro Redondo	Nov 14-Abr 15	90,6 %	9,4 %	–	100 %
	Nov 15-Abr 16	–	–	–	0 %
	Nov 16-Abr 17	75,0 %	25,0 %	–	100 %
Cayo Coco Cayo Guillermo	Nov 14-Abr 15	33,3 %	66,7 %	–	100 %
	Nov 15-Abr 16	9,3 %	–	–	9,3 %
	Nov 16-Abr 17	92,6 %	–	–	92,6 %

BIBLIOGRAFÍA

Alley, W.M. (1984). The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Applied Meteorology*, 23:1100–1109.

Barcia, S., M. Fontes, M. Ramírez, & E. Y. Viera (2019). La sequía meteorológica 2014-2017, características e impactos en la provincia Cienfuegos. *Revista Cubana de Meteorología*. Vol.25, 319-333.

Bhalme H.N., & D.A. Mooley (1980). Large-Scale droughts/floods and monsoon circulation. *Mon.Weather Rev.,* 1197-1211.

Boletín de la Vigilancia del Clima (BVC) (2015). Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), Vol.27, N° 10.

Boletín de la Vigilancia del Clima (BVC) (2017). Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET), Vol.29, N° 4.

Boletín de la Vigilancia del Clima (BVC) (2017). Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Vol. 14, N° 4.

Bouroncle, C., P. Imbach, P. Läderach, B. Rodríguez, C. Medellín, E. Fung, M. R. Martínez-Rodríguez... & C. I. Donatti (2015). La agricultura de Honduras y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? CGIAR Research Programon Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Recuperado de: https://hdl.handle.net/10568/45943

Byun, H.R., & D.A. Wilhite (1999). Objective Quantification of Drought Severity and Duration. Journal of Climatology, 12/p. 2747-2756, https://doi.org/10.1175/15200442

Calvo-Solano, O.D., L. Quesada-Hernández, H. Hidalgo, & Y. Gotlieb (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano. Agron. Mesoam., 29 (3), 695-709. https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828

Centella, A., J. Llanes, L. Paz, C. López, & M. Limia (2001). Primera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Grupo Nacional de Cambio Climático. Instituto de Meteorología. La Habana.

Centella, A., B. Lapinel, O. Solano, R. Vázquez, C. Fonseca, V. Cutié, & L. Duarte (2006). La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana. Cuba: Ed. Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD).

Cutié, V., B. Lapinel, N. González, J. Perdigón, C. Fonseca, I. González, & Y. Góngora (2013). La Sequía en Cuba, un texto de referencia. La Habana: Sello editorial ama.

Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. WIREs Climate Change, Volume 2, Issue 1 /p. 45-65, https://doi.org/10.1002/wcc.81

ECHO, 2014. Lecciones aprendidas y buenas prácticas para la reducción de riesgos frente a la sequía en América Central y del Sur. Programa de resiliencia frente la sequía en comunidades de América Central y del Sur. Dirección de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea, 20 p.

Eswar, R., N.N. Das, C. Poulsen, A. Behrangi, J. Swigart, M. Svoboda, D. Entekhabi, S. Yueh, B. Doorn, & J. Entin (2018). SMAP Soil Moisture Change as an Indicator of Drought Conditions. Remote Sensing. 10 (5):788. https://doi.org/10.3390/rs10050788.

González, J., & J. Valdés (2006). New Drought Frequency Index, Definitions Evaporative Perfomance Analysis. Water Resources Research, 42 /pp. 333-349, https://doi.org/10.1029/2005WR004308

González, O. C., & I.M. Casallas (2014). Hoja metodológica del indicador Anomalía de precipitación (Versión 1,10). Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Servicio de Información Ambiental. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. 9 p.

Guttman, N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. Journal of the American Water Resources Association, 35:311–322, https://doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.

Ionita, M., P. Scholz, & S. Chelcea (2016). Assessment of droughts in Romania using the Standardized precipitation index. Nat Hazards 81/pp. 1483–1498.

Kerang, L. (1993). Drought desertification and their mitigation technology in the world. Report of the CCL Repporteour on Drought and Desertification to the Eleventh session of the Commision of Climatology, 30 pp.

Kogan F.N. (2000). Contribution of remote sensing to drought early warning. In early warnings sytems for drought preparedness and drought management, ed. D.A.

Lapinel, B., N. Varela, & V. Cutié (1998). Sequía, aridez y desertificación. Términos de referencia. Nueva versión del Sistema Nacional de Vigilancia de la Sequía. Informe Científico Técnico Oficina Territorial de Camagüey.

Lapinel, P., B. Rivero, & V. Cutié (1993). La Sequía en Cuba y sus causas. Análisis del período 1931-1990. Informe de resultado (Inédito). La Habana: INSMET.

Loucks, D.P. (1997). Quantifying trends in system sustainability. Hydrol. Sci. J. 42 (4):513 – 530.

Lloyd-Hughes, B., & M.A. Saunders (2002). A drought climatology for Europe. International Journal of Climatology, 22, 1571-1592. https://doi.org/10.1002/joc.846

McKee, T.B., N.J. Doesken, & J. Kliest (1993). The relationship of drought frequency and duration time scales. In: Proceedings of the 8th international conference on applied climatology. Boston, MA, /p. 179-184.

Mishra, A.K., & V.P. Singh (2010). Una revisión de conceptos de sequía. Revista de hidrología. Vol 391, 1 y 2, pp. 202-216. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

Mishra, A.K., & V.P. Singh (2011). Modelo de sequía: una revisión. Revista de hidrología. Vol 403, 1 y 2, pp. 157-175. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.049

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2016). Estado del Clima Mundial 2011-2015. OMM - N° 1179.

Ortega-Gaucin, D., & I. Velasco (2013). Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México. Revista Aqua-Lac., 5(2), 78-90.

Ortiz, C.F., & A.M. Ortega (2015). Riesgo meteorológico de sequía y su impacto agro-socio-económico de la Región Tierra Caliente, Michoacán, México. International Conference on Regional. XLI Reunión de estudios regionales.

Otero, M., S. Barcia (2018). Manifestaciones de la sequia meteorológica en la provincia de Villa Clara (Cuba) en el período 2000-2017. Investigaciones Geográficas, (70), 197-217. https://doi.org/10.14198/INGEO2018.70.10

Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought. Weather Bureau Research Paper No. 45, US 538 Department of Commerce, Washington, DC./p.58-539.

Panaou, T. (2018). Assessing the Impacts of Climate Change on Streamflow and Reservoir Operation in Central Florida.Graduate Theses and Dissertations. https://scholarcommons.usf.edu/etd/7211.

Paredes, F., J.L. Millano, & E. Guevara (2008). Análisis espacial de las sequías meteorológicas, región de Los Llanos, Venezuela durante el período 1961-1996. Revista de Climatología, 8, 15-27.

Redacción National Geographic (2017). España se enfrenta a una de las sequías más destructivas de la historia. National Geographic. www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/11.

Samarah, N.H. (2005). Effects of droughts stress on growth and yield of barley. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag (Germany), 25 (1)/p.145-149.

Solano, O., R. Vazquez, A. Centella, & B. Lapinel (2006). Una aproximación al conocimiento de la sequía en Cuba y sus efectos en la producción agropecuaria. Revista Zonas Aridas, 11(1), pp. 85-100. Recuperado de http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art06.pdf

Thorn, H.C.S. (1966). Some Methods of Climatological Analysis. WMO/TD-No.81, World Meteorological Organization, 53.

Valero, A., F. Matos, & S. Hernández (2021). Uso de Dashboard y SIG en servicios climáticos de Ciego de Ávila: nueva propuesta metodológica. Universidad & Ciencia, Vol. 10, No. 2, pp 196-211.

Van-Rooy, M.P.(1965). A Rainfall Anomaly Index (RAI). Independent of the Time and Space. Notes,14 /p.43 -48.

Velasco I., & J. Collado (1998). Elementos de planeación para afrontar sequías. XV Congreso Nacional de Hidráulica, Oaxaca, México, pp. 19-24.

Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería, & J.I. López-Moreno (2010). A Multiscalar Drought Index to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. Journal of Climate, Vol 23/p.1696-1718.https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1

Wilhite, D.A., & M.H. Glantz (1985). Comprender el fenómeno de la sequía: el papel de las definiciones. Water International 10 (3), pp. 111-120.https://doi.org/10.1080/025080685086866328

Young, K.C. (1992). A Three-Way Model for Interpolating for Monthly Precipitation Values. Monthly Weather Review, 120, 2561-2569. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1992)120<2561:ATWMFI>2.0.CO;2

Zargar, A., R. Sadiq, B. Naser, & F.I. Khan (2011). A review of drought indices. Environ Rev, 19/pp.333–349.

Alexey Valero Jorge

Ingeniero Hidrógrafo Geodesta graduado en la Academia Naval Granma. Especialista en Meteorología en el Departamento de Meteorología Aplicada del Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila, Cuba. Desde el 2021, es miembro de la Sociedad de Meteorología de Cuba (SOMETCUBA) y de la Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (ACTAF). Sus líneas de investigación se centran en la topografía, geodesia, cartografía y teledetección; la paleotempestología, predicción meteorológica; así como climatología sinóptica y de mesoescala; bioclimatología; variabilidad y cambio climático; riesgos meteorológicos y contaminación.

Se sugiere citar:
Valero, A. (2022). Caracterización del evento de sequía meteorológica durante el período 2014-2017 en la provincia Ciego de Ávila (Cuba). *Revista Cartógrafo.CL 3*(1), pp. 68 - 89.

Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.

https://www.upla.cl/cienciasnaturalesyexactas/geografia/

https://www.ide.cl

https://www.linkedin.com/in/arturorauda/

Cartógrafo.CL/03-2022

Aplicación de la Ingeniería Geomática en la Minería

Arturo Arenas Rauda
Ingeniero Topógrafo y Geodesta

México

DOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Geomática

Término científico-moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica. También llamada información espacial o geoespacial. "Geomática" deriva del francés "géomatique" (geo- *Tierra*) y la terminación de "informatique" (*informática*). Es decir, el estudio de la superficie terrestre a través de la informática (tratamiento automatizado de la información).

Ingeniería geomática

Rama multidisciplinar que comprende la topografía, cartografía, teledetección (percepción remota), fotogrametría, geodesia, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistemas de Posicionamiento Global (GNSS y GPS).

Estas disciplinas, a su vez, se extienden a una amplia variedad de campos tecnológicos que incluye geometría digital, gráficos por ordenador, procesamiento digital de imágenes, realidad virtual, Sistemas CAD, sistemas de gestión de bases de datos, estadísticas espaciotemporal, inteligencia artificial y tecnologías de internet, entre otros.

En minería es necesario diseñar, mantener y manipular datos geográficos mediante el uso de software especializado, con el propósito de crear mapas y modelos en 2D y 3D. Con la ayuda de tecnologías geomáticas, como el láser 3D, se pueden actualizar los mapas de estado de la mina, monitorizar taludes o mapear las grietas de las rocas. Contar con la información indispensable en la prevención de accidentes, sondeos, control geométrico y control de la explotación minera son tareas que atañen a la ingeniería en geomática.

NOTA: Los Institutos y Oficinas de Gobierno nombrados se refieren a México.

arturoarauda@gmail.com

ACTIVIDADES DE LA INGENIERÍA GEOMÁTICA DENTRO DE LA MINERÍA

Cartografía minera

La cartografía es la disciplina que se ocupa de la concepción, producción, difusión y estudio de mapas. En minería se deben conocer cuáles son los límites de la concesión, para ello se necesita realizar un análisis de la cartografía minera existente en la Agencia, Subdirección o en la Dirección General de Minas (Figura 1). Lo anterior, con la finalidad de conocer si la superficie de interés se encuentra libre y efectuar el trámite correspondiente para amparar dicha superficie.

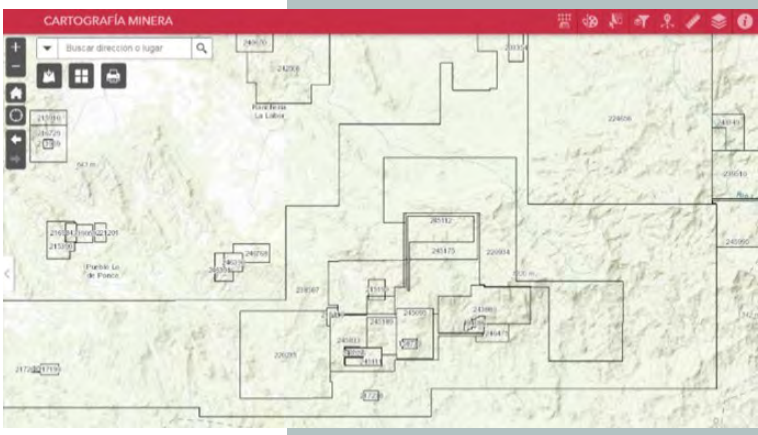
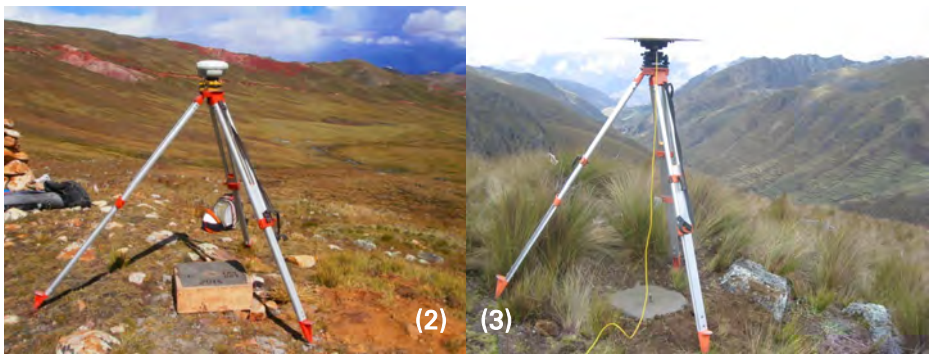


Figura 1. Cartografía minera

Sistema Global de Posicionamiento Satelital (GNSS)

El sistema de posicionamiento satelital (GNSS) permite posicionar cualquier objeto sobre la Tierra con una precisión de centímetros. En minería, se aplica para conocer el área de interés, para ello se debe de realizar una solicitud de concesión minera acompañada de un trabajo pericial que se ingresa a la Secretaría de Economía a través de la Dirección General de Minas. Trabajos que realiza un perito minero (Figuras 2 y 3), cuyas visitas de campo se llevan a cabo con equipo GPS de doble frecuencia y apoyados con la Red Geodésica Nacional Activa del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), con ello realiza una medición satelital del conocido "punto de partida", que es el inicio o referencia que da lugar espacial a una concesión minera, así como a los puntos de partida de concesiones colindantes o interiores de la nueva solicitud.

https://www.inegi.org.mx/



Figuras 2 y 3. Equipos GPS de doble frecuencia sobre mojoneras. Puntos de partida de concesiones mineras.

Fotogrametría

Es la ciencia y técnica cuyo objetivo es el conocimiento de las dimensiones y posición de objetos en el espacio, a través de las mediciones realizadas a partir de la intersección de dos o más fotografías. En minería para conocer la topografía del lugar en toda la extensión de la concesión minera se debe realizar un mapa con curvas de nivel a determinada equidistancia, donde se representen los cambios de pendientes, arroyos, caminos, brechas, poblados, etc.

Una de las maneras más rápidas que se utilizan en la actualidad es mediante la fotogrametría con dron o avioneta, en donde la aeronave vuela sobre el área de estudio mientras esta realiza toma de fotografía a un determinado tiempo, sobre la base de los vértices terrestres y medidos con equipo GPS de doble frecuencia que con antelación se colocaron (Figuras 4 y 5). Esto se conoce como control terrestre.

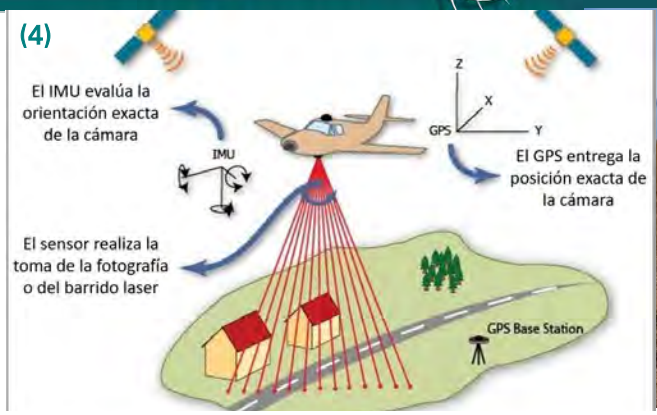
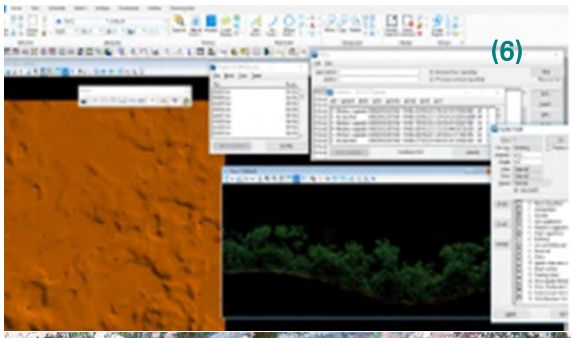
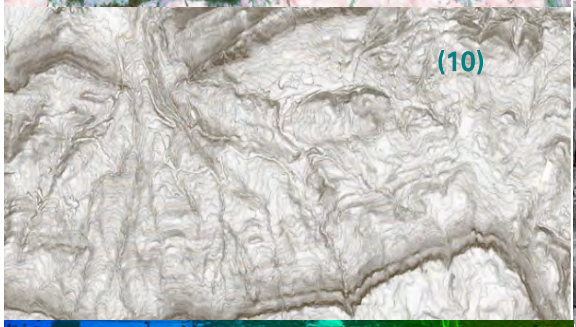


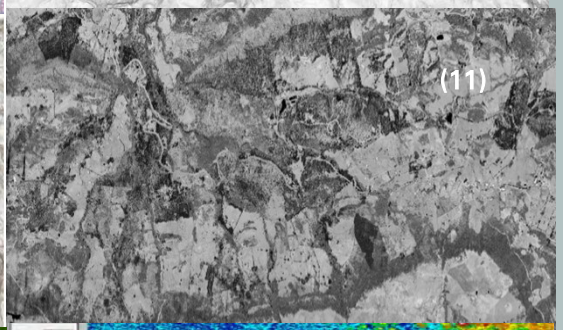
Figura 4. Vuelo con avioneta o con dron.

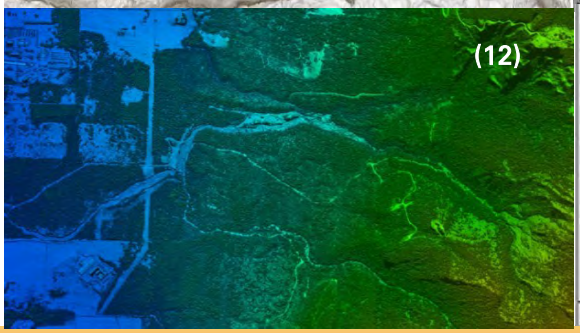
Figura 5. Vértice de control terrestre.

Posteriormente, se procesa toda la información y se calculan las coordenadas de los puntos de control terrestre, así como el desarrollo de la fotogrametría para obtener lo que se requiera mediante un producto final conocido como ortofoto. A partir de esta ortofoto se obtienen varios productos terminales y listos para análisis como se grafican en las Figuras 6 a 13.









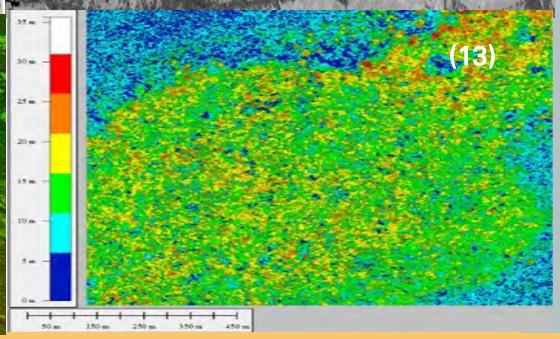


Figura 6. Procesamiento de datos.

Figura 7. Ortofoto.

Figura 8. Modelo Digital de Superficie.

Figura 9. Modelo digital de elevación.

Figura 10. Curvas de nivel.

Figura 11. Imágenes de densidad.

Figura 12. Análisis de riesgo de deslave.

Figura 13. Medición de alturas de árboles.

Percepción remota, imágenes de satélite

Con las imágenes de alta resolución que ofrecen algunas plataformas, se pueden controlar los cambios en la vegetación, obtener actualizaciones meteorológicas en tiempo real, gestionar tareas de exploración, identificar áreas con problemas, recibir notificaciones en forma simultánea, y ahorrar significativamente tiempo y dinero. Los datos de campo se almacenan en un único lugar, lo que hace que la gestión de campo sea más fácil y eficiente, y permita la monitorización de los cambios en las pendientes, así como los avances de tajos a cielo abierto.

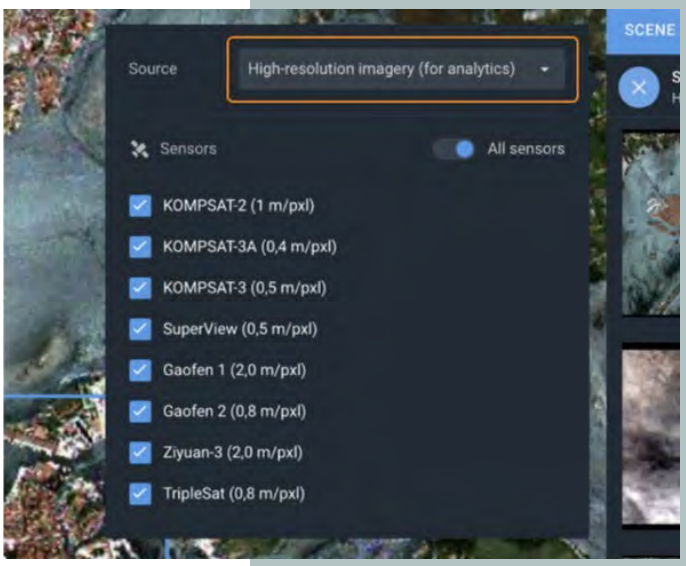


Figura 14. Algunos sensores para análisis.

Los mapas, información geoespacial y análisis temáticos derivados de imágenes de satélite de alta resolución pueden ayudar a la toma de decisiones y al conocimiento de la situación durante todas las fases de desarrollo de un proyecto. Esto se define mediante preparación, vigilancia, análisis rápido, respuesta, recuperación y reconstrucción. Durante la fase de análisis, respuesta y recuperación, el suministro de productos de análisis de imágenes de alta velocidad, actualizados, precisos e integrales tiene una importancia crítica en la evaluación de situaciones catastróficas, especialmente en áreas remotas en las que otros tipos de evaluación o mapeado fallan o no tienen suficiente calidad. Este mapeado actualizado, que cubre grandes partes del área afectada, permite que los gestores de catástrofes tengan una visión general de la situación, evalúen los daños y ofrezcan rápidamente información fiable a los equipos logísticos locales.

El impacto ambiental sustancial de las operaciones es un problema importante para la industria minera. Las tecnologías avanzadas de las imágenes de satélite mediante plataformas en tiempo real se pueden utilizar para analizar y monitorear áreas remotas, vegetación, cuerpos de agua, hundimientos de tierras y sitios abandonados, lo que permite una planificación casi en tiempo real para prevenir emergencias.

Figura 15. Visualización de tajo mediante sensor remoto.

Topografía

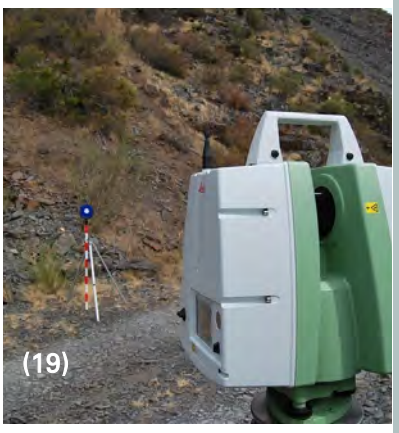
Es la disciplina que se encarga de describir de manera detallada la superficie de una determinada porción de terreno.

En la actualidad, se sigue operando mediante equipos de estaciones totales para realizar levantamientos en detalle y de porciones de terreno pequeñas, levantamientos de caminos, barrenos, plantas de beneficio, ubicación de socavones, entre muchas otras actividades.

Figuras 16 y 17. Estación Total en minería.

Otros equipos de gran ayuda son los escáneres topográficos (Figuras 18 y 19) que se utilizan para mediciones y cálculos de reservas pequeñas, revisiones de infraestructura, así como las plantas de beneficio, etc.

La utilización de escáner topográfico en la medición de minas subterráneas es muy común en la actualidad, dado que es un equipo que puede realizar una medición rápida y precisa y arrojar como resultado el desarrollo en sus diferentes niveles (Figuras 20 y 21).



Figuras 18 y 19. Escáner topográfico en minería.

Figuras 20 y 21: Ejemplo de escáner topográfico en minería subterránea.

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Conjunto de herramientas que integra y relaciona diversas capas, permitiendo la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y gestión de grandes cantidades de datos procedentes de las actividades antes mencionadas. Datos que están vinculados a una referencia espacial en común, con lo cual facilita la integración a cualquier tema de interés y toma de decisiones (Figuras 22 y 23).

En minería es muy utilizado por qué facilita el análisis de información geológico-topográfica, la realización de modelación en 3D y los resultados de exploración y de explotación.

En resumen, la ingeniería geomática se encuentra presente en todas las actividades de la minería tanto en la parte legal como la técnica. Es una herramienta muy potente, auténtica y precisa para la toma de decisiones y en complemento con otras ciencias hacen de la minería una actividad de gran importancia para la generación de empleo, sustentabilidad y todo en un mismo espacio.

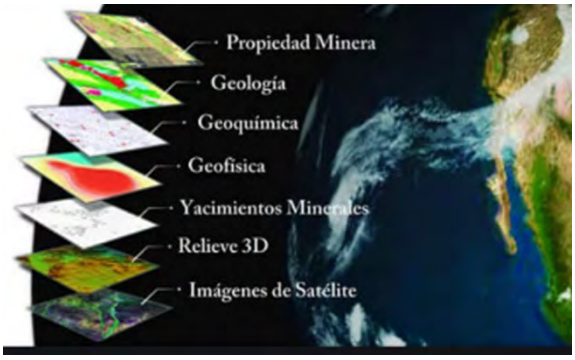


Figura 22. Resumen de capas.

Figura 23. Ejemplos de SIG.

Arturo Arenas Rauda

Ingeniero topógrafo y geodesta de la Universidad Nacional Autónoma de México. Consultor y Asesor en Ingeniería Geomática.

Se sugiere citar:
Arenas, A. (2022). Aplicación de la Ingeniería Geomática en la Minería. *Revista Cartógrafo.CL 3*(1), pp. 91 - 96.

Bajo Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Cartógrafo.CL/03-2022

Cartografía Náutica

Nautical Cartography

Gabriel Moraga Gormaz
Cartógrafo - Magíster en Geomática
Director revista Cartógrafo.CL

INTRODUCCIÓN

La historia del hombre siempre ha estado acompañada por la cartografía, desde los primeros tiempos, el hombre ha representado su entorno, los lugares de interés para la caza y la pesca, la localización de los recursos naturales, etc.

En este contexto, las grandes civilizaciones se han desarrollado en las riberas de los océanos y mares del mundo, que han permitido el intercambio comercial y los desplazamientos a lejanas tierras. Una rama de la cartografía ha sido protagonista estelar de este desarrollo: la cartografía náutica. Esta ha sido un elemento fundamental para lograr una navegación segura, desde los fenicios que surcaron el Mediterráneo hasta los grandes buques tanques que navegan las aguas del mundo.

La carta de navegación es un instrumento vital para el navegante, entrega información valiosa para el desarrollo de una navegación segura; por ejemplo, el conocimiento del fondo marino, la información batimétrica, las posiciones de faros, boyas y balizas, ruta o track de navegación más segura, características de las instalaciones portuarias, entre otros antecedentes.

INTRODUCTION

The man history has always been accompanied by cartography, since the earliest times man has represented his environment, places of interest for hunting and fishing, location of natural resources, etc.

In this context, greatest civilizations have developed on the shores of the world's oceans and seas, allowing trade and travel to distant lands. A branch of cartography has been the star of this development: nautical cartography is the fundamental element for safe navigation, from the Phoenicians sailing the Mediterranean to the large tankers sailing the world's waters.

Nautical chart is a vital instrument for the navigator, providing valuable information for the development of safe navigation, such as knowledge of the seabed, bathymetric information, the positions of lighthouses, buoys and beacons, route or track of safer navigation, characteristics of port facilities, among other background information.

DEFINICIONES

La cartografía es la ciencia que se encarga de representar las relaciones del hombre con el medio que lo rodea; para tal efecto se vale de un lenguaje propio constituido por planos, cartas y mapas.

La carta náutica es el producto cartográfico diseñado especialmente para la navegación marítima. Es la herramienta fundamental que permite al navegante completar una navegación segura. Para ello, representa gráficamente una serie de elementos: profundidades, tipo de fondo, zonas de peligro, balizamiento, etc.

RESPONSABILIDADES

A nivel mundial, la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) es el organismo encargado de coordinar a los servicios hidrográficos del mundo para la estandarización de la cartografía y publicaciones náuticas; la adopción de métodos fiables y eficientes en el desarrollo de levantamientos hidrográficos y la promoción del desarrollo de las ciencias en el campo de la hidrografía y de las técnicas usadas en la oceanografía física. Figura 1.

A nivel local, son los servicios hidrográficos de cada país, los responsables y encargados de su propia cartografía náutica. En el caso de Chile, desde 1874, el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) tiene la responsabilidad de editar, publicar y mantener las publicaciones y cartas náuticas del país.

DEFINITIONS

Cartography is the science responsible for representing the relationships of man with his environment, for this purpose, it uses its own cartographic language made up of plans, charts, and maps.

Nautical Cartography is the cartographic product specially designed for maritime navigation. It is the fundamental tool of the navigator to complete a safe navigation, for this, it represents most elements such as depths, type of bottom, danger zones, buoyage, etc.

RESPONSIBILITIES

At a global level, the International Hydrographic Organization (IHO) is the organization in charge of coordinating the Hydrographic Offices of the world in the standardization of cartography and nautical publications, in adopting reliable and efficient methods in the development of hydrographic surveys and in promoting the development of the sciences in the field of hydrography and of the techniques used in physical oceanography. Figure 1.

At the local level, Hydrographic Services of each country are responsible to manage their own nautical cartography. In the case of Chile, since 1874 the Hydrographic and Oceanographic Service of the Navy (SHOA) has been responsible for editing, publishing and maintaining the country's publications and nautical charts.

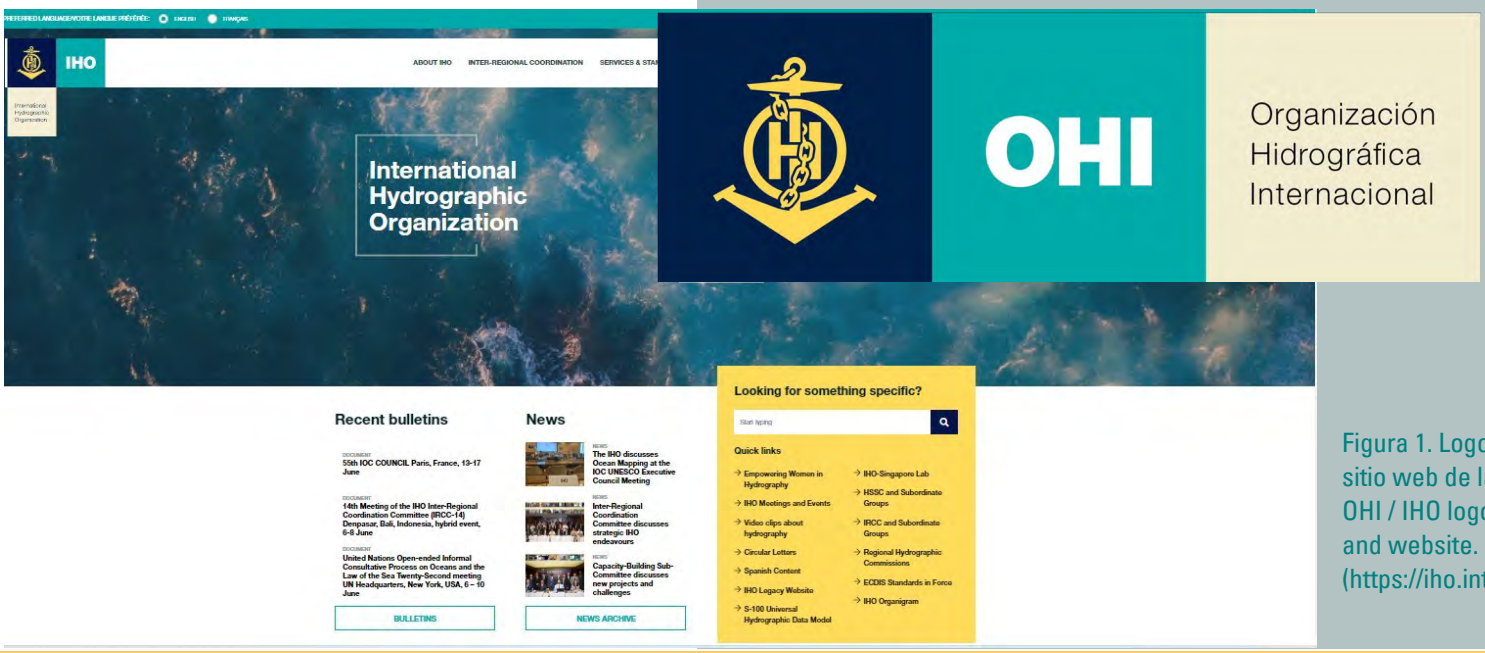


Figura 1. Logo y sitio web de la OHI / IHO logo and website. (https://iho.int)

HISTORIA

Los primeros indicios de una carta náutica o de navegación se remontan al siglo XIII y hacen referencia a los mapas portulanos. En la actualidad, se conocen numerosos ejemplares, dentro de las que se distinguen tres tendencias o escuelas: la catalana, la italiana y la portuguesa.

Las cartas o mapas portulanos son consideradas como las primeras cartas náuticas. Estas incorporan el uso de la rosa náutica, que permite el trazado del rumbo entre dos puntos directamente en la carta; aun cuando no se contaban con coordenadas, el uso de la brújula los hacia muy precisos.

Son consideradas verdaderas obras de arte, ya que generalmente incluían figuras iconográficas, como el dibujo de criaturas mitológico-marinas, entre otras particularidades.

Posterior a los Portulanos, españoles y portugueses publicaron algunas cartas náuticas con antecedentes recopilados durante sus exploraciones de las Indias Occidentales, las Américas y las costas de África; pero solo algunas de estas cartas contaban con datos de profundidades. Los holandeses fueron los primeros que confeccionaron cartas náuticas con indicaciones de profundidad, peligros y bajos fondos, similares a nuestras cartas náuticas actuales. Figura 2.

Con el incremento del comercio marítimo, en el siglo XIX se empezó a desarrollar la producción de cartas náuticas a escala mundial. La tarea recayó en organismos públicos, y muchos gobiernos encomendaron a sus armadas la tarea de levantar y publicar las cartas náuticas. Figura 3.

HISTORY

First signs of a nautical or navigation chart date back to the 13th century and refer to the Portolan maps; numerous copies are known, within which three tendencies or schools are distinguished: the Catalan, the Italian, and the Portuguese.

Portolan charts or maps are considered the first nautical charts; these incorporate the use of the Nautical Rose, allowing the plotting of the Course between two points directly on the chart; even when they did not have coordinates, the use of the compass made them very precise.

They are considered true works of art since they generally included iconographic figures, such as the drawing of mythological sea creatures among other particularities.

After the Portolans, the Spanish and the Portuguese published some nautical charts with information compiled during their explorations to the West Indies, America, and the coasts of Africa; but only some of these charts had depth data. The Dutch were the first to make nautical charts indicating depth, dangers, and shallows, like our current nautical charts. Figure 2.

With the increase in maritime trade, in the 19th century the production of nautical charts began to develop on a global scale. The task fell on public organizations, and many governments entrusted their navies with the task of drawing up and publishing nautical charts. Figure 3.

Figura 2. Mapas portulanos, precursores de las actuales cartas náuticas / Portulan maps, precursors of the current nautical charts.

LA CARTA NÁUTICA ACTUAL

Características de la carta náutica

- Su objetivo es dar seguridad a la navegación.
- Para cumplir su objetivo, en el sector marítimo representa la configuración del fondo marino utilizando información batimétrica, es decir, sondas y veriles. Las sondas representan profundidades marinas de forma puntual, por su parte los veriles son isolíneas que unen puntos de igual profundidad.
- Adicionalmente, representa las posiciones y características de las ayudas a la navegación, estas corresponden a los faros, boyas y balizas; además de otros elementos como características y velocidades de las corrientes marinas, calidades del fondo marino, esquemas de separación de tráfico marítimo, instalaciones portuarias, enfilaciones, rosas náuticas, obstrucciones, bajos fondos, naufragios, etc.

THE CURRENT NAUTICAL CHART

Characteristics of the nautical chart

- Its objective is to give security to navigation.
- To fulfill its objective, in the maritime sector it represents the configuration of the seabed using bathymetric information, that is, soundings and contours. The soundings represent sea depths in an specific way, for their part, the contours are isolines that join points of equal depth.
- Additionally, it represents the positions and characteristics of the Aids to Navigation, these correspond to Lighthouses, Buoys and Beacons; in addition to other elements such as characteristics and speeds of sea currents, qualities of the seabed, traffic separation schemes, port facilities, leading lines, nautical roses, obstructions, low depths, shipwrecks, etc.

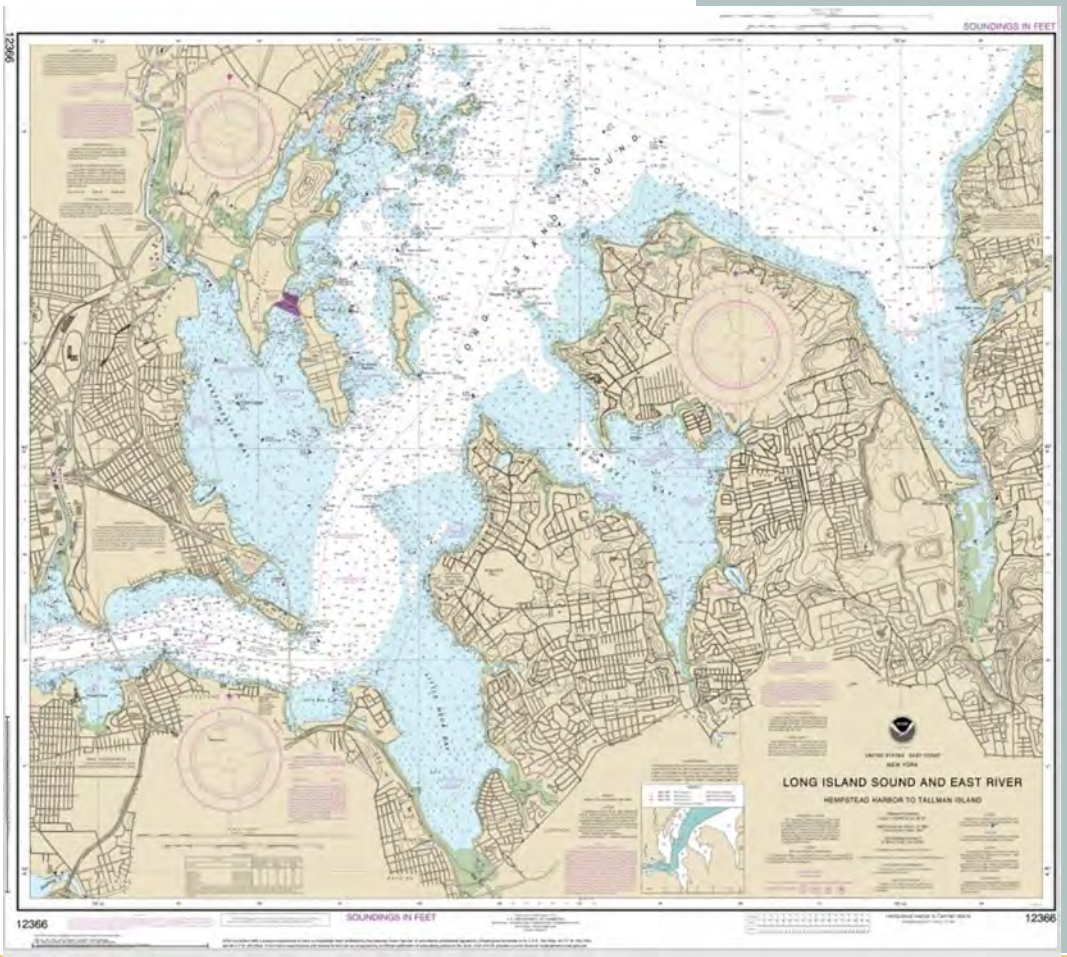


Figura 3. Carta náutica moderna / Modern nautical chart

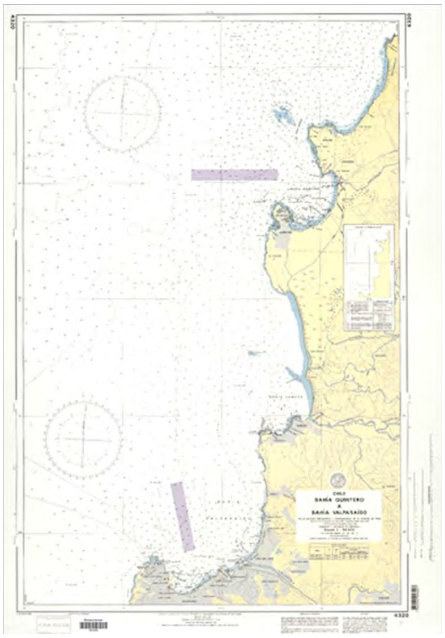
Parámetros cartográficos de la carta náutica

- Proyección Mercator, solo un paralelo geográfico no tiene deformación (factor de escala igual a 1).
- Dátum SIRGAS/WGS-84, compatible con posicionamiento satelital.
- Poseen traslape.
- Escalas varias (oceánicas, de navegación costera, de puertos, etc.).
- Pueden ser cartas individuales, con planos insertos, o bien compuesta por planos adyacentes. Figura 4.

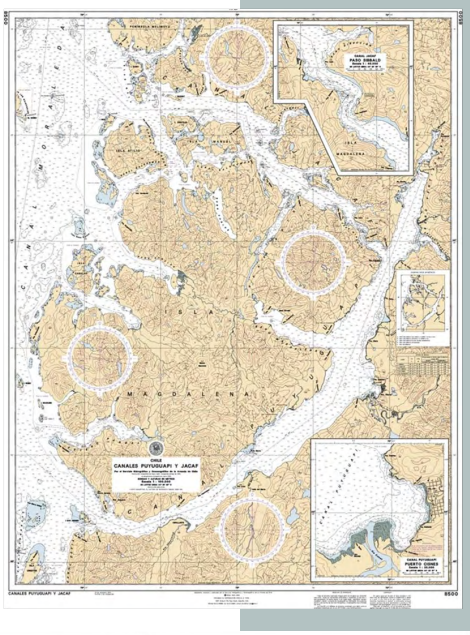
Cartographic parameters of the nautical chart

- Mercator projection, only one geographical parallel has no deformation (scale factor equal to 1).
- Datum SIRGAS/WGS-84, compatible with satellite positioning.
- They have overlap.
- Several scales (oceanic, coastal navigation, ports, etc.).
- They can be individual charts, with inserted planes, or composed of adjacent planes. Figure 4.

(a)



(b)



(c)

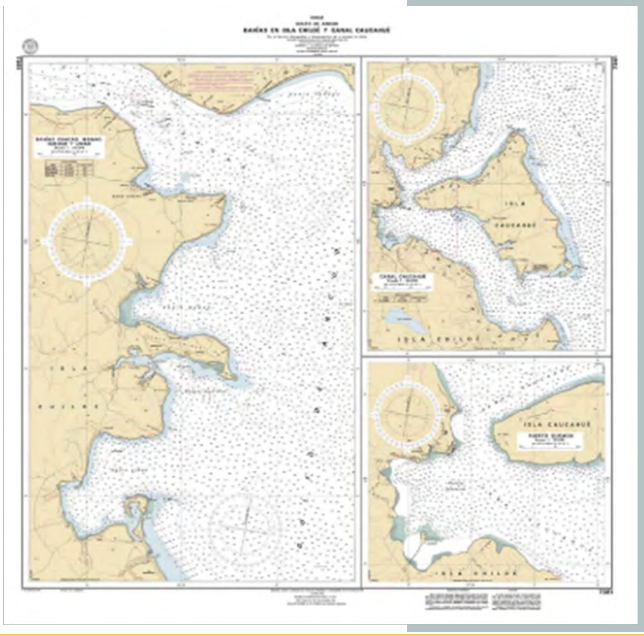


Figura 4. (a) Carta náutica individual, con planos insertos (b) y compuesta por planos adyacentes (c).
(a) individual nautical chart, with inserted planes (b) and composed of adjacent planes (c).

TIPOS DE INFORMACIÓN QUE CONTIENE LA CARTA NÁUTICA

Información batimétrica

La hidrografía es parte de la geografía física, y se encarga del estudio y descripción de los cuerpos de agua. Para materializar sus estudios, la hidrografía se vale se la información batimétrica; el objetivo principal de la hidrografía es obtener información que permita la confección de cartas náuticas. La batimetría corresponde a los valores de profundidad de los océanos, mares, ríos y lagos del mundo.

La sonda corresponde a un valor numérico de profundidad en un punto específico de la superficie de un cuerpo de agua; es decir, es la distancia vertical entre un punto sobre la superficie del agua y el fondo marino. En el sistema métrico decimal se expresan en metros y decímetros; y en el sistema imperial, en brazas y pies.

Dado que una sonda se comienza a medir desde la superficie del agua hasta el fondo marino, esta distancia no es constante, sino que varía en función del momento en que se determina, si es en marea baja o alta. Cuando hay marea alta, el valor de sonda (profundidad) aumenta; cuando hay marea baja, el valor de sonda (profundidad) disminuye.

Considerando la «incertidumbre» en el valor real de la sonda, los servicios hidrográficos deben considerar para su representación de sondas la peor situación posible para el navegante, es así que ante un valor de sonda medido en marea alta y en marea baja, la peor situación es considerar el «cero» de la sonda en marea baja, es decir, con el valor de sonda más pequeño. Este «cero» de la sonda se denomina «dátum vertical»; aun así, numerosos servicios hidrográficos han determinado como dátum vertical de las sondas un nivel incluso inferior a la marea baja, en este caso el NRS (Nivel de Reducción de Sondas), de modo de entregarle al navegante un valor de sonda mínimo que difícilmente se medirá o captará durante la navegación.

En las cartas náuticas, las sondas se representan en valores numéricos que señalan la profundidad de manera puntual, a partir de estas

TYPES OF INFORMATION CONTAINED IN THE NAUTICAL CHART

Bathymetric information

Hydrography is part of physical geography, and it is responsible for the study and description of bodies of water. To materialize its studies, hydrography uses bathymetric information; main objective of hydrography is obtaining information that allows the preparation of nautical charts. Bathymetry corresponds to the depth values of the world's oceans, seas, rivers, and lakes.

The sounding corresponds to a numerical depth value at an specific point on the surface of a body of water, that is, it is the vertical distance between a point on the water surface and the seabed. In the metric system they are expressed in meters and decimeters; and in the imperial system they are expressed in fathoms and feet.

Since a sounding begins to measure from the surface of the water to the seabed, this distance is not constant, but it varies depending on the moment it is measured, whether it is low tide or high tide. When there is high tide, the sounding value (depth) increases; when there is low tide, the sounding value (depth) decreases.

Considering the "uncertainty" in the real value of the sounding, the Hydrographic Services must consider for their sounding representation the worst possible situation for the navigator, so in face of a sounding value measured at high tide and low tide, the worst situation is to consider the "zero" of the sounding at low tide, that is, with the smallest sounding value; this “zero value” is called the “vertical datum”; Even so, numerous Hydrographic Services have determined a level even lower than low tide as the vertical datum of soundings, in this case the NRS (Sounding Reduction Level), in order to provide the navigator with a minimum sounding value that will be hardly measured or captured during navigation.

In the nautical charts, soundings are represented in numerical values that indicate the depth in a point, from these soundings the depth contours are made, which correspond to isolines that represent depth in a linear way. Knowledge of the depths is fundamental to the safety of navigation, so the values of the depths, soundings and depth contours can determine the safest navigation track to complete the navigation. Figure 5.

sondas se confeccionan los veriles, que corresponden a isolíneas que representan profundidad de manera lineal. El conocimiento de las profundidades es fundamental para la seguridad de la navegación, por lo que los valores de las profundidades, sondas y veriles, pueden determinar el track de navegación más seguro para completar la navegación. Figura 5.

En la actualidad, los servicios hidrográficos cuentan con dos modernas tecnologías para la captura o recopilación de la información batimétrica, estas son mediante el uso de ecosondas monohaz y multihaz. Figura 6.

Today, hydrographic services have two modern technologies for capturing or compiling bathymetric information, these are using a single beam echo sounder and a multibeam echo sounder. Figure 6.

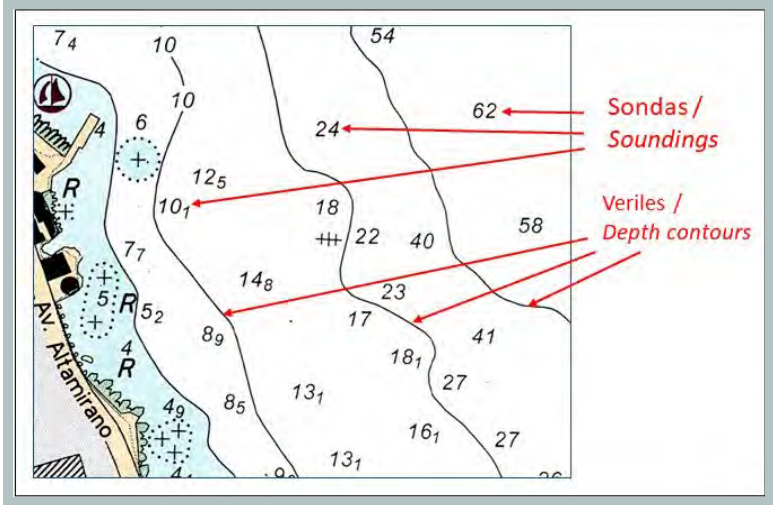


Figura 5. Sondas y veriles / Soundings and depth contours.

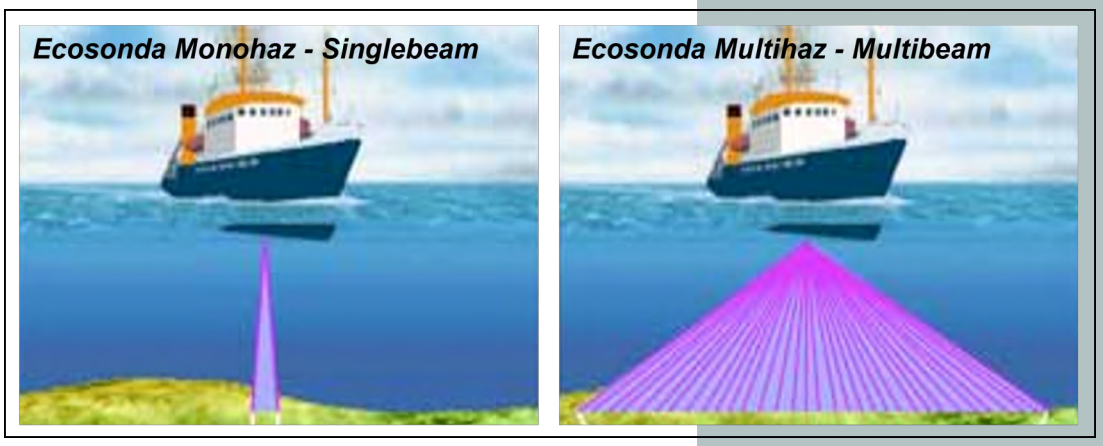


Figura 6. Ecosonda monohaz y multihaz /Single beam and multibeam echosounder.

Ayudas a la navegación

Son todos los sistemas visuales, acústicos o radiofónicos cuyo objetivo es posicionar embarcaciones, obstrucciones y peligros que puedan interferir en una navegación segura, y permiten definir las rutas de navegación adecuadas y seguras, para evitar encallamientos, naufragios o cualquier tipo de accidente.

Las ayudas a la navegación son faros, boyas y balizas.

Navigation aids

They are all the visual, acoustic or radio systems whose objective is to position vessels, obstructions and/or dangers that may interfere with safe navigation, allowing the definition of adequate and safe navigation routes, avoiding groundings, shipwrecks, or any type of accident.

Aids to Navigation are lighthouses, buoys, and beacons.

Los faros tienen la función de «señal costera». Ellos se utilizan principalmente para dar a conocer un punto específico y destacado sobre la costa; apoyan el control del tráfico marítimo; las comunicaciones a larga distancia; la verificación de las condiciones de tiempo para que los buques puedan salir a la bahía y a mar adentro, etc. Durante el día, los faros se reconocen por estar pintados de color blanco y rojo; de noche emiten destellos de color blanco los cuales pueden tener alcances de hasta 40 millas náuticas (74 km aprox.) y siempre orientados hacia el mar, ocasionalmente pueden emitir «señales de niebla». Figura 7.

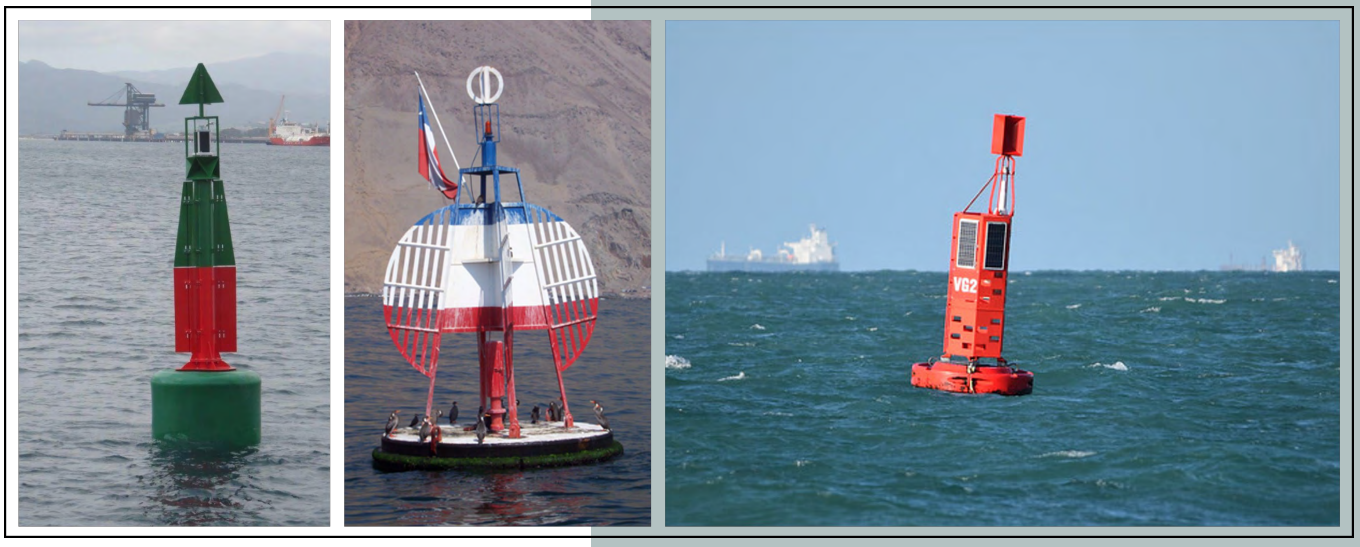
Lighthouses fulfill the function of "Coastal Signal", they are mainly used to mapping and to highlight an specific and prominent point on the coast, they support the control of maritime traffic, long-distance communications, the verification of the weather conditions so that ships can go out to the bay and offshore, among other functions. During the day, lighthouses are recognized by being painted white and red; at night they emit flashes of white color which can have ranges of up to 40 Nautical Miles (74 km. approx.) and always oriented towards the sea, occasionally they can emit "fog signals". Figure 7.

Figura 7. Faro / Lighthouse

Las boyas se localizan en el agua y están ancladas al fondo marino; pueden ser luminosas o ciegas (sin luz); cumplen diversas funciones según su forma (esférica, cilíndrica, cónica, etc.); según su color (rojo, verde, blanco, negro, combinaciones de colores); o según su marca de tope (cilindros, esferas, etc.). Sus objetivos principales son delimitar canales navegables, señalizar obstáculos a la navegación, servir de ayuda al navegante, entre otros. Comprende seis tipos de señales diferentes que pueden emplearse en forma combinada: señales laterales, señales de peligro aislado, señales de nuevos peligros, señales de aguas seguras, señales especiales y señales cardinales. Figura 8.

Buoys are located in the water and they are anchored to the seabed; they can be luminous or blind (without light); they fulfill several functions according to their shape (spherical, cylindrical, conical, etc.), according to their color (red, green, white, black, color combinations), or according to their top marks (cylinders, spheres, etc.). Their main objectives are to delimit navigable channels, signal obstacles to navigation, serve as an assistance to the navigator, among others. They comprise six different types of signals that can be used in combination: Lateral marks, isolated danger marks, new danger marks, safe water marks, special marks and cardinal marks. Figure 8.

Figura 8. Boya / Buoy



Las balizas son objetos prominentes construidos en tierra, se utilizan como referencia y ayuda a la navegación. Las balizas pueden ser luminosas o ciegas. De acuerdo con su forma, color, marca de tope y luminosidad, cumplen diferentes funciones, como, por ejemplo, señal lateral, obstrucción, peligros, aguas navegables, marcas especiales, etc. Figura 9.

Beacons are prominent objects built on land, they are used as a reference and navigation aid. Beacons can be luminous or blind. According to their shape, color, top marks and luminosity, they fulfill different functions, such as, lateral marks, obstruction, dangers, navigable waters marks, special marks, etc. Figure 9.

Figura 9. Baliza / Beacon.

Rosa náutica

Para el desarrollo de una navegación segura se requiere que el navegante siga correctamente un track de navegación previamente definido, para ello debe utilizar las demarcaciones dadas por los ángulos llamados rumbo o azimut. Sobre la carta náutica el elemento que permite calcular definir y trazar los rumbos y/o azimut es la rosa náutica. Figura 10.

Compass rose

To fulfil a safe navigation, it is required that the navigator correctly follows a previously defined navigation track, for this he must use the demarcations given by the angles called course or azimut. On the nautical chart the element that allows to calculate, define, and trace directions and angles is the compass rose. Figure 10.

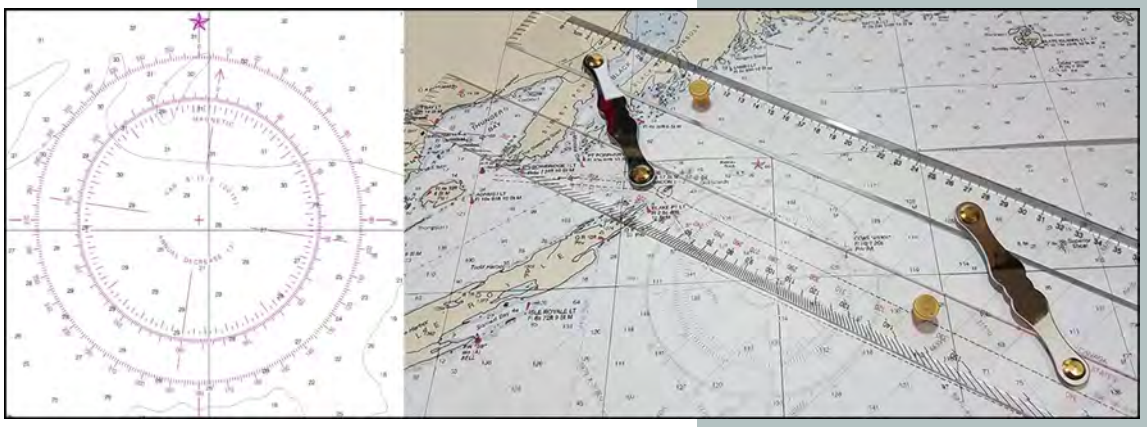


Figura 10.
Rosa náutica,
carta de navegación
y regla paralela /
Compass rose, nautical
chart and parallel ruler .

La rosa náutica está conformada por dos retículas circulares de grados sexagesimales, la externa tiene su «cero» en la dirección al norte geográfico, y la interna está orientada al norte magnético; adicionalmente, cuenta con información de variación o declinación magnética, cambio anual y año de publicación de la carta. El navegante define su track de navegación con la retícula externa, señalando la dirección que debe seguir la embarcación dibujándola directamente en la carta. Figuras 11 y 12.

Compass rose has two circular grids of sexagesimal degrees: external one has its "zero" in the direction to the geographic north; and the internal one is oriented to the magnetic north; additionally, it has information on magnetic variation or magnetic declination, annual change, and year of publication of the chart. Navigator defines his navigation track with the external grid, indicating the direction that the boat must follow, and drawing it directly on the chart. Figures 11 and 12.

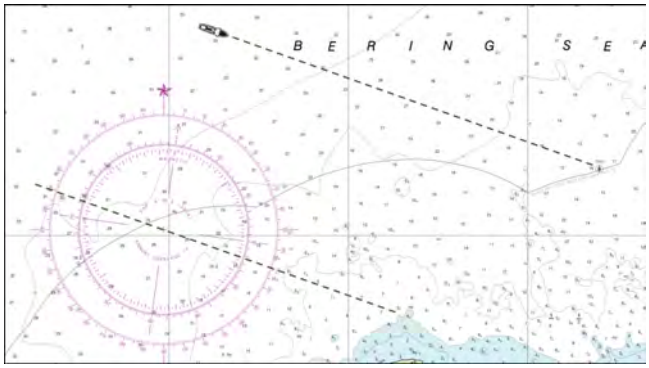


Figura 11. Uso de la rosa náutica para definir una demarcación angular /
Using the compass rose to define an angular demarcation.

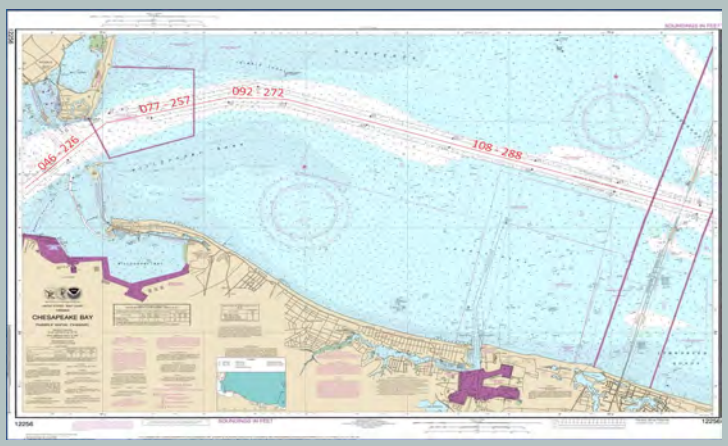


Figura 12. Uso de la rosa náutica para trazar un track de navegación /
Using the compass rose to draw a navigation track.

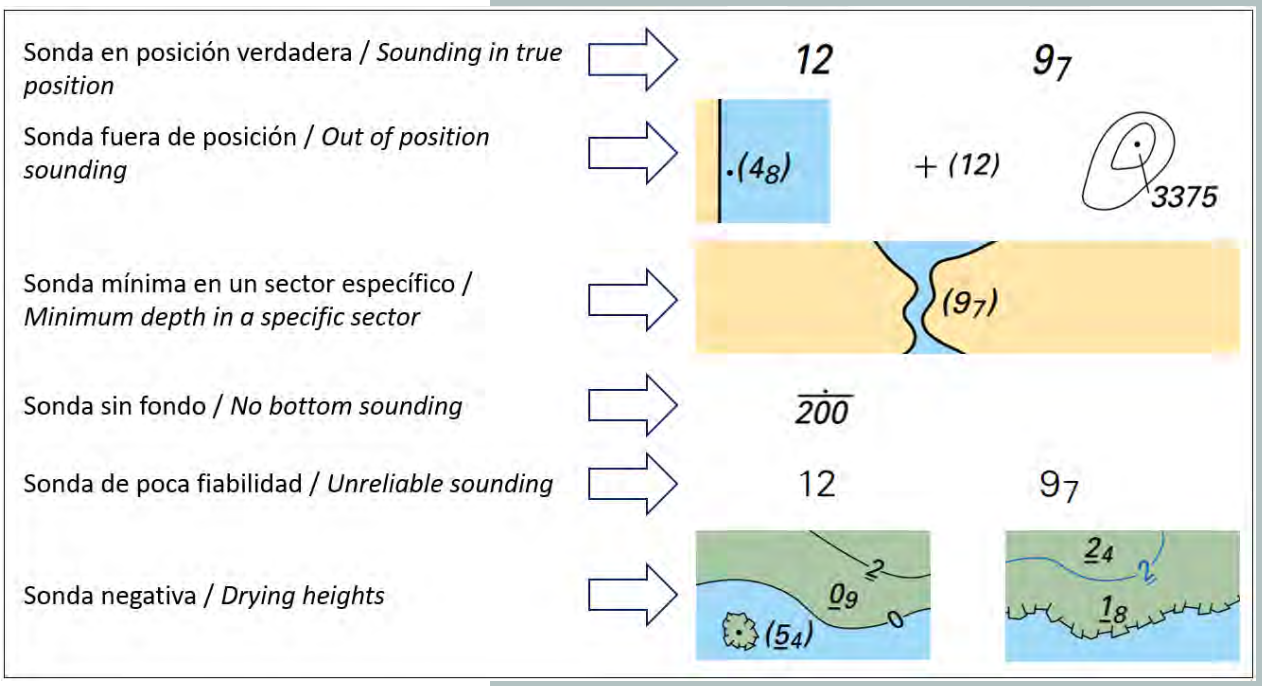
Sondas

Según las condiciones que encuentre el cartógrafo al momento de editar la carta náutica, dispondrá de una serie de consideraciones para dibujar y posicionar el número correspondiente al valor de la sonda en función del espacio disponible y de la categoría de la información batimétrica. Es así como una sonda puede estar dibujada en su posición real, o levemente desplazada por restricción de espacio, con la debida indicación; por otro lado, la sonda puede estar dibujada en tipo o fuente cursiva o normal, ya sea se trate de una sonda moderna y de buena calidad, o bien antigua y de poca fiabilidad, respectivamente; también puede tratarse de una sonda negativa, que en este caso se señala con una barra horizontal bajo el número, y corresponde a una sonda de un sector intermareal, es decir, un sector que se va a secar o inundar dependiendo de la marea. Figura 13.

Soundings

Depending on the conditions that the cartographer faces when editing the nautical chart, he will have a series of considerations to draw and position the number corresponding to the value of the sounding, in terms of the available space and the category of bathymetric information. Thus, a sounding can be drawn in its real position, or slightly displaced by space restriction, with due indication; on the other hand, the sounding can be drawn in italic or normal type or font, either it is a modern and good quality sounding, or old and unreliable, respectively; it can also be a negative sounding, which in this case is indicated with a horizontal bar under the number, and corresponds to a sounding of an intertidal sector, that is, a sector that is going to dry or flood depending on the tide. Figure 13.

Figura 13. Representación de tipos de sondas / Mapping of soundings types



Veriles

El trazado o dibujo de los veriles se realiza en función de las sondas disponibles. Si se dispone de una gran densidad de sondas, esto permite un trazado de veriles más preciso y cercano a la realidad; por el contrario, si la cantidad de sondas no es muy densa, el trazado de veriles no será muy exacto, en el primer caso se trata de sondaje multihaz y el segundo, sondaje monohaz.

Depth contours

The outline or drawing of the depth contour is carried out according to the available soundings, if a high density of soundings is available, this allows a drawing of depth contours more precise and closer to reality; on the contrary, if the number of soundings is not too dense, drawing of depth contours will be not exact. In the first case, are soundings from a multibeam echosounder, in the second case, are soundings from a singlebeam echosounder.

La línea de trazado del veril puede ser continua o segmentada, en el primer caso el veril es generado por una gran cantidad de sondaje multihaz, en el segundo caso el veril es generado por un reducido número de sondas, sondaje monohaz, o bien puede tratarse de una situación en la que no existen sondas a uno de los lados del veril. El intervalo de separación entre los veriles no es constante, como ocurre en la cartografía topográfica con las curvas de nivel, en este caso se privilegia la información más sensible y útil para una navegación segura, entregando más densidad de veriles en las cercanías de costa; dado que los sectores de menor profundidad son los más peligrosos, en los intervalos de veriles más someros se utilizan tintas de color celeste para destacar el peligro de estos sectores. Figura 14.

The line of the depth contour can be continuous line or dashed line, in the first case, the depth contour is generated from a large amount of soundings; in the second case, the depth contour is generated from a small number of soundings, or it may be a situation in which there are no soundings on one side of the depth contour. Interval of separation between the depth contours is not constant, as it happens in the topographic cartography with the contour lines, in this case the most sensitive and useful information for a safe navigation is privileged, delivering more density of depth contours in the vicinity of the coast; considering the shallower sectors are the most dangerous, in the intervals of shallow depth contours, light blue inks are used to highlight the danger of these sectors. Figure 14.

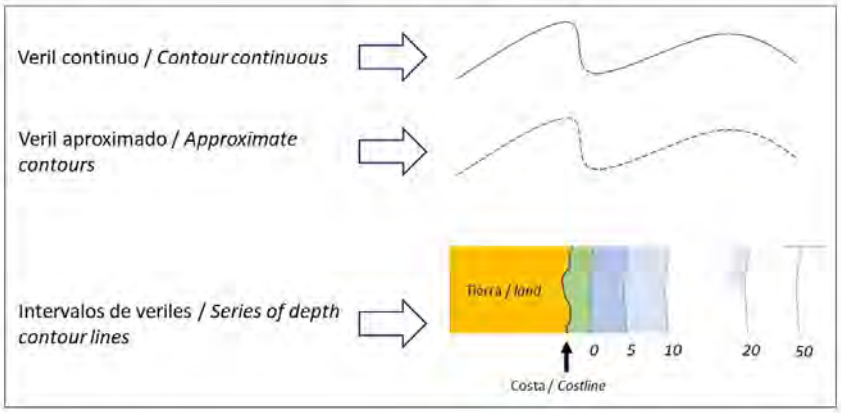


Figura 14. Tipos de veriles y sus intervalos de profundidad /Types of depth contours and their depth intervals.

Línea de costa

El nivel medio del mar se asocia generalmente al nivel «cero» de las altitudes, para el caso de la carta náutica se produce la misma situación para la información contenida desde la costa hacia tierra; sin embargo, la línea de costa no es el «cero» u origen de las sondas o profundidades, sino que este corresponde al dátum vertical. Así es como este concepto de línea de costa puede ser representado de varias formas, dependiendo de si se trata de una costa normal, aproximada o acantilada. Figura 15.

Coastline

The mean sea level is generally associated with the "zero" level of the altitudes, in the case of the nautical chart, the same situation occurs for the information contained from the coast to inland; however, the coastline is not the "zero" or origin of the soundings or depths, but this corresponds to the “vertical datum”. Thus, this concept of coastline can be represented in several ways, depending on whether it is a normal, approximate or cliff coast, among others. Figure 15.

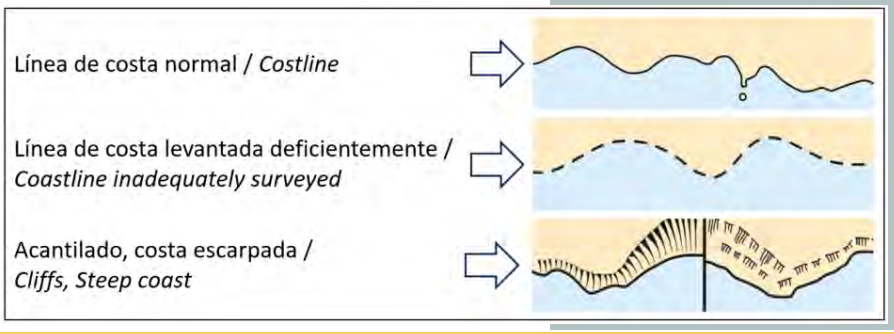


Figura 15. Tipos de línea de costa/ Types of coastlines

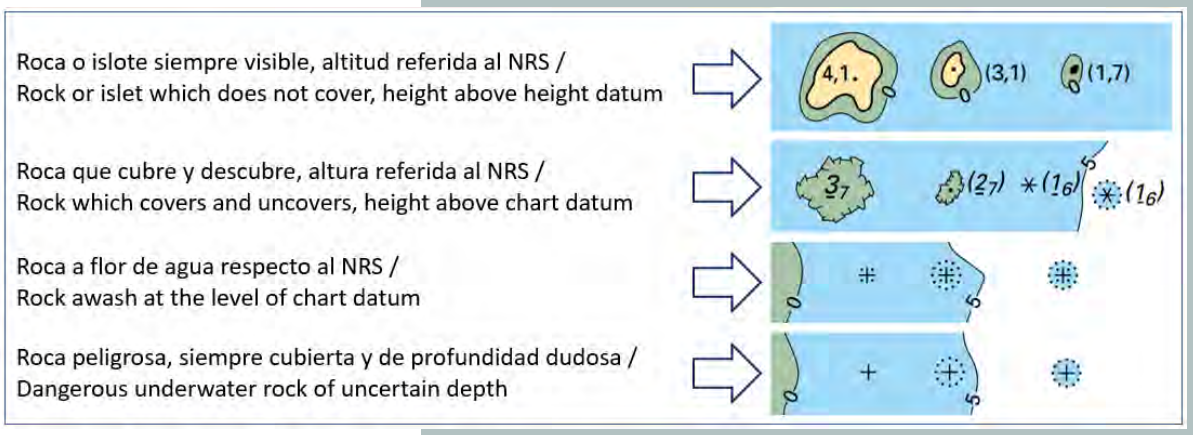
Rocas

Sin duda los elementos más peligrosos que el navegante puede encontrar durante el desarrollo de su travesía son las rocas. Estas pueden estar completamente sumergidas, o completamente sobre el nivel del agua, o bien una situación intermedia en que la roca se cubre de agua en marea alta y queda al descubierto durante la marea baja. Su representación en la carta náutica es de vital importancia ya que la existencia y posición de estos elementos sobre la carta náutica definirán el track de navegación que seguirá la embarcación. Figura 16.

Rocks

Undoubtedly, the most dangerous elements that the navigator can find during the development of his journey, are the rocks, which can be completely submerged, or completely above the water level, or an intermediate situation in which the rock is covered with water at high tide and is exposed at low tide. Its representation in the nautical chart is very important since the existence and position of these elements on the nautical chart, will define the track of navigation that the ship will follow. Figure 16.

Figura 16. Tipos de rocas / Types of rocks



Obstrucciones

La navegación es sin duda una de las actividades más complejas que el hombre puede realizar, y son innumerables los factores que confabulan para el logro del objetivo de la carta náutica: «dar seguridad a la navegación». Es en este contexto que el navegante se enfrenta a obstrucciones de tipo natural, como los factores meteorológicos y el estado del mar. La carta náutica representa muchas de las obstrucciones que el navegante debe tener en cuenta para llevar a cabo una navegación segura, como las características del fondo marino y de la línea de costa; la presencia de obstrucciones físicas como naufragios, emisarios submarinos, áreas destinadas a actividades de explotación de recursos, áreas de restricción de navegación o de fondeo, etc. Figura 17.

Obstructions

Navigation is certainly one of the most complex activities that man can perform, and there are a lot of factors that conspire to achieve the objective of the nautical chart, which is "to give safety to navigation". It is in this context that the navigator confronts natural obstructions, such as meteorological factors and the state of the sea. The nautical chart represents all type of obstructions that the navigator must be to bear in mind to carry out a safe navigation, such as the characteristics of the seabed and the coastline, presence of physical obstructions such as shipwrecks, submarine pipeline, areas intended for resource exploitation activities, areas of navigation restriction or anchoring, etc. Figure 17.

Áreas en general

Aun cuando el navegante no lo note, el área donde desarrolla su navegación(ya sea, ríos, lagos, bahías, puertos, mar abierto, etc.) se encuentra prolijamente controlada por la

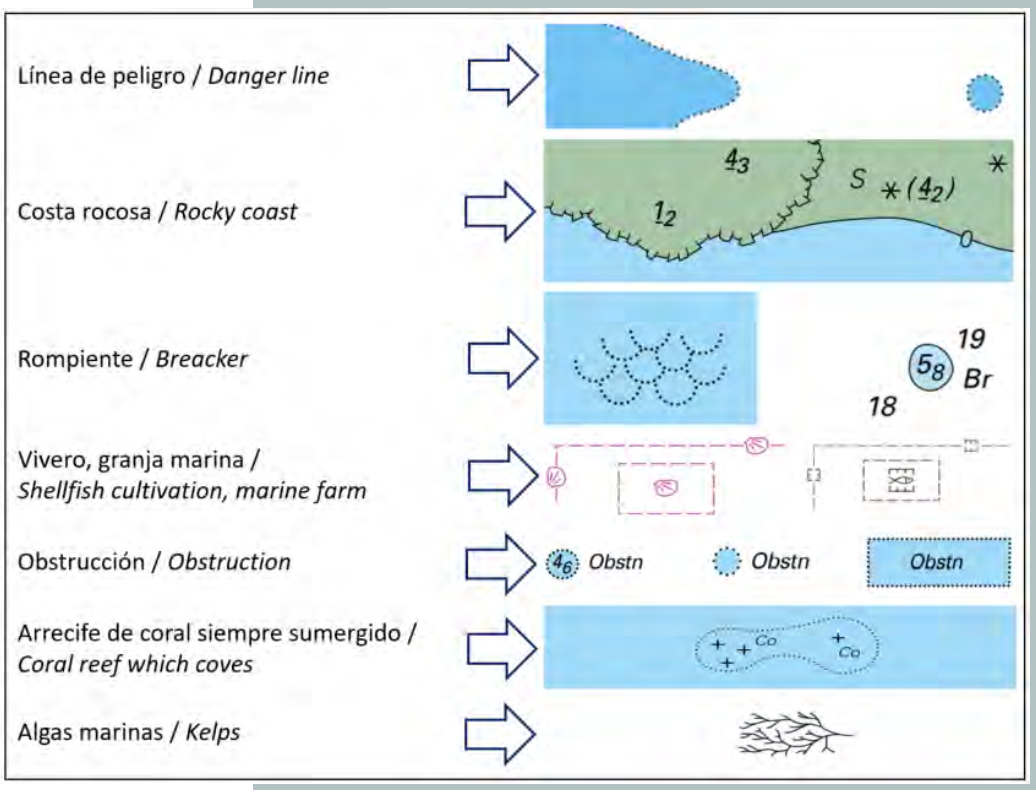
Areas in general

Even though the navigator does not notice it, the area where he develops his navigation either, rivers, lakes, bays, ports, open sea, etc., is neatly controlled by the respective maritime authority, in terms of defining

respectiva autoridad marítima, en términos de definir áreas para la navegación, áreas para deportes náuticos, áreas para actividades relacionadas con la pesca, áreas de restricción, áreas de seguridad, entre muchas otras. Estas áreas están representadas en la carta náutica y el navegante debe respetar el régimen de uso de cada una de ellas, sin olvidar que lo que se busca es dar seguridad a la navegación. Figuras 18 y 19.

areas for navigation, areas for water sports, areas for activities related to fishing, restriction areas, safety areas, among many others. These areas are represented in the nautical chart and the navigator must respect the regime of use of each of them, without forgetting that what is sought is to give safety to navigation. Figures 18 and 19.

Figura 17. Algunas obstrucciones representadas en la carta náutica / Some obstructions mapping in nautical charts.



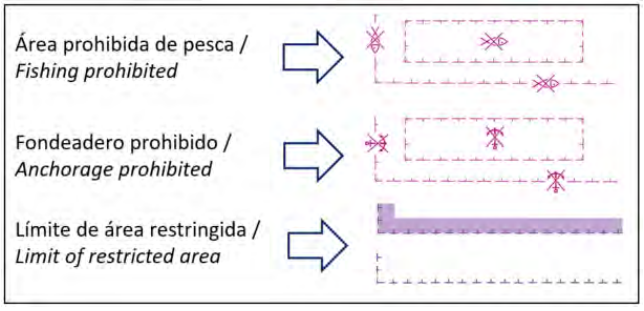


Figura 18. Áreas de restricción / Restricted areas.

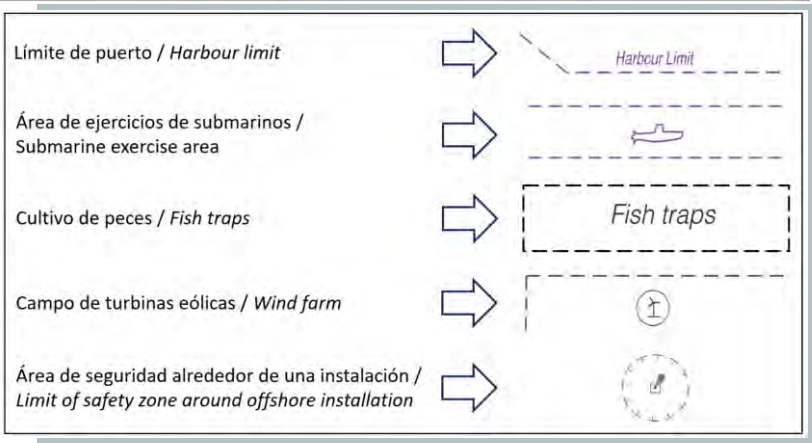


Figura 19. Áreas en general / General areas

LA CARTA NÁUTICA Y LA NAVEGACIÓN MODERNA

En la actualidad, la navegación moderna necesita de la carta náutica para desarrollar su actividad, tanto desde el punto de vista de la seguridad como desde el punto de vista de las regulaciones administrativas y mercantiles de los países ribereños a los mares y océanos del mundo. Indudablemente, los avances de la tecnología contribuyen a lograr el objetivo, y aportan con equipos de navegación, sistemas de posicionamiento y dispositivos de seguridad de última generación que alivian la tarea del navegante. Sin embargo, la carta náutica no es el único documento que requiere el navegante para su navegación, existe un set de publicaciones náuticas que sirven de apoyo y complemento a esta actividad, y son, al igual que la carta náutica en papel, de uso obligatorio para todos los navegantes del mundo. Dentro de estas publicaciones se tienen las siguientes: Derrotero de la costa, Carta 1, Lista de faros, Radioayudas a la navegación, Tabla de mareas y corrientes, y los boletines de Noticias a los navegantes. Figura 20.

La navegación tradicional se ha sustentado siempre en la carta náutica en formato de papel, sin embargo, desde la última parte del siglo XX, el navegante dispone de dos alternativas más que surgieron como corolario natural a los avances tecnológicos, transversales a todas las ciencias y actividades del hombre. Así es como, la OHI ha liderado esta revolución en lo que a la navegación tradicional respecta, y ha definido los estándares necesarios para que, además del formato análogo de papel de la carta náutica tradicional, los servicios hidrográficos puedan confeccionar una versión digital en formato «raster» de la carta náutica (RNC, Raster Navigational Chart). Figura 21.

NAUTICAL CHART AND MODERN NAVIGATION

Today, modern navigation needs the nautical chart to develop its activity, both from the point of view of safety and from the point of view of the administrative and commercial regulations of the countries bordering the seas and oceans of the world. Undoubtedly, advances in technology contribute to achieving the goal, providing navigation equipment, positioning systems and safety devices that lighten the task of the navigator. However, the nautical chart is not the unique document that the navigator requires for his navigation, there is a set of nautical publications that serve as support and complement to this activity, and are, as well as the nautical chart on paper, mandatory for all navigators in the world. Among these publications are the following: Coast pilot, Chart 1, List of lighthouses, Radio aid to navigation, Tides and currents, and Notice to mariners. Figure 20.

Traditional navigation has always been based on the nautical chart in paper format, however, since the last part of the 20th century, the navigator has two more alternatives that emerged as natural result to technological advances, transversal to all the sciences and activities of man. Thus, the IHO has led this revolution in terms of traditional navigation, and has defined the necessary standards so that, in addition to the analogous paper format of the traditional nautical chart, hydrographic services can make a digital version in "raster" format of the nautical chart (RNC, Raster Navigational Chart), Figure 21.

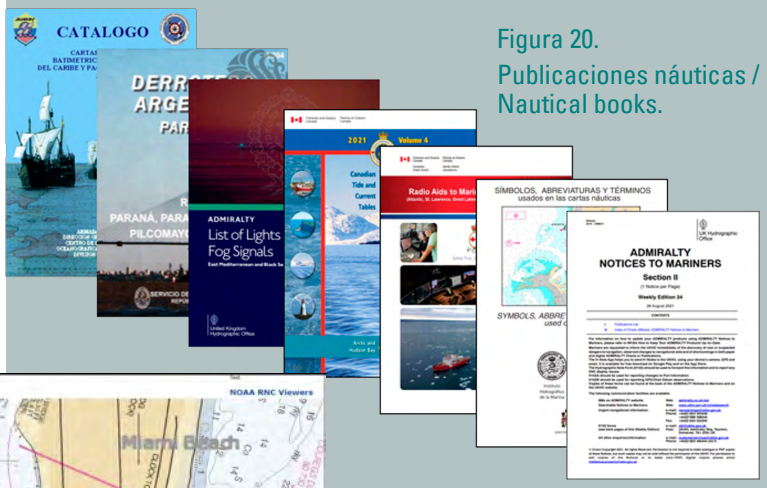


Figura 20.
Publicaciones náuticas / Nautical books.

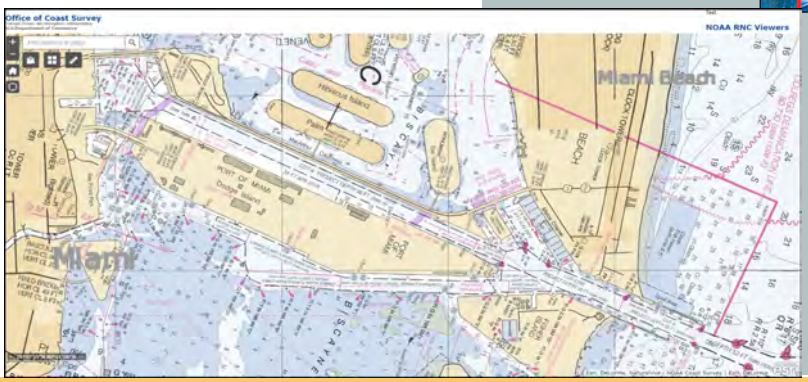


Figura 21.
Carta náutica digital, formato raster (RNC) / Digital nautical chart, raster format (RNC).

Adicionalmente, y considerando un alto grado de especialización, los servicios hidrográficos también podrán confeccionar cartas de navegación en formato vectorial, pero bajo el concepto de base de datos especializada, con la incorporación de un avanzado sistema de visualización (sistema ECDIS); además de todos los dispositivos de navegación de la embarcación, como el GPS y el radar, entre otros. Esta tercera alternativa se denomina Carta Náutica Electrónica (en inglés, ENC, Electronic Navigational Chart). Figuras 22, 23 y 24.

Considerando la gran importancia de la navegación en el desarrollo de la sociedad, se ha establecido una serie de reglamentos que todos los navegantes del mundo deben conocer, seguir y respetar.

Entre las normas que involucran al a cartografía náutica se tienen las siguientes:

- La embarcación debe disponer de las cartas y publicaciones oficiales (no copias) en formato de papel, que el navegante utilizará en su travesía debidamente actualizadas.
- El navegante puede utilizar cartas náuticas en formato digital, pero siempre debe disponer de sus cartas y publicaciones oficiales y actualizadas en formato de papel. Solo en ciertas circunstancias el sistema de navegación ECDIS puede reemplazar la navegación con cartas de papel.

Additionally, and considering a high degree of specialization, the hydrographic services may also publish a navigation chart in vector format, but under the concept of specialized database, incorporating an advanced visualization system (ECDIS system), in addition to all the navigation devices of the boat, such as GPS and radar, among others; this third alternative is called electronic navigational chart (ENC). Figure 22, 23 and 24.

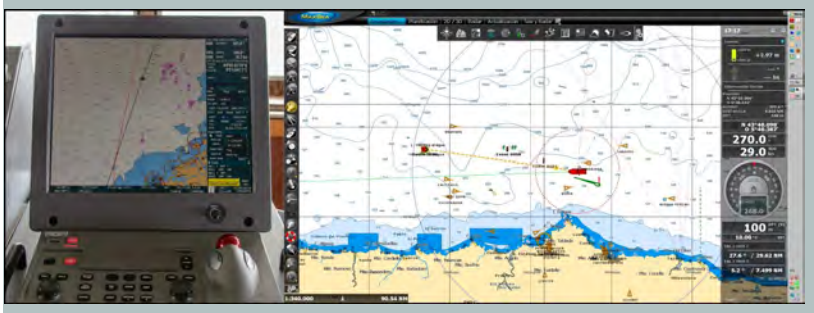


Figura 22. Sistema ECDIS y carta náutica electrónica (ENC) / ECDIS and ENC.

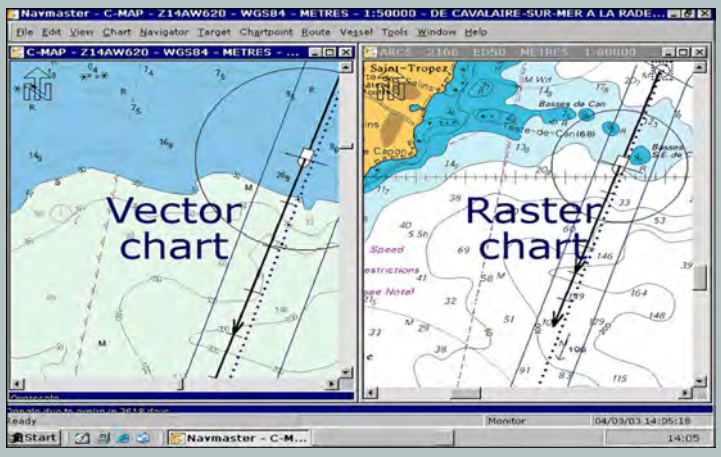


Figura 23. A la izquierda, ENC; a la derecha, RNC / On the left, ENC; on the right, RNC.

Figura 24. Sistema ECDIS en el puente de mando / ECDIS on the bridge.

- Para el eficiente uso de las ENC se debe disponer del sistema de navegación ECDIS. Este sistema es el que soporta la ENC, debe tener conexión a GNSS, radar, ecosonda, corredera, girocompás, AIS, anemómetro, etc.
- La ENC debidamente actualizada es una base de datos que contiene toda la información recopilada de las publicaciones náuticas anexas y que acompañan a la carta náutica en la navegación, por lo que podría ser considerado un sistema autónomo.
- El uso de la RNC también es posible en el sistema ECDIS, pero solo se utilizarán un mínimo porcentaje de las prestaciones del sistema. La RNC es «copia» de la carta de papel, por lo que posee las mismas limitantes que esta.
- Finalmente, y como norma general y de seguridad, el navegante siempre debe contar con dos sistemas de navegación diferentes.

CONCLUSIÓN

La navegación y la cartografía náutica han acompañado al hombre desde sus albores; en los inicios mediante la navegación con cartas sin sondas y sin la seguridad de llegar a puerto; hasta la actualidad, donde la tecnología se ha incorporado fuertemente a esta actividad, tanto en las mismas embarcaciones como en los sistemas de navegación.

Sin embargo, no habrá nada que pueda reemplazar a las tradicionales cartas de papel, ni al experimentado navegante con su sextante, con su brújula y con su regla paralela. El legado de los primeros navegantes que surcaron los mares con precarias embarcaciones y primitivas cartas de navegación seguirá vigente mientras exista alguien que se anime surcar los mares del mundo.

Para más detalles:
Reglamento de la OHI para cartas internacionales y especificaciones cartográficas de la OHI.

http://tinyurl.com/22g8667h (español)

http://tinyurl.com/2xuyvj3a (english)

Considering the great importance of navigation in the development of society, a series of regulations have been established, that all navigator in the world must know, follow, and respect. Among the rules that involve nautical cartography are the following:

- The ship must have all the official charts and publications (not copies) in paper format that the navigator will use on his voyage, duly updated.
- The navigator can use nautical charts in digital format but must always have their official and updated charts and publications in paper format. Only in certain circumstances can the ECDIS system replace navigation with paper charts.
- For the efficient use of ENCs, ECDIS system must be available. This system is the one that supports the ENC, it must have connection to GNSS, radar, echosounder, gyrocompass, AIS, anemometer, etc.
- The duly updated ENC is a database that contains all the information collected from the nautical publications annexed and that accompany the nautical chart in navigation, so it could be considered an autonomous system.
- Use of the RNC is also possible in the ECDIS system, but only a minimum percentage of the system's performance will be used. The RNC is a "copy" of the paper letter, so it has the same limitations as this one.
- Finally, and as a general and safety rule, the navigator must always have two different navigation systems.

CONCLUSION

Navigation and nautical cartography have accompanied man since its inception, in the beginning sailing with charts without soundings and without the security of being able to reach port, until today, where technology has been strongly incorporated into this activity, both in the ships themselves, and in navigation systems.

However, there will be nothing that can replace traditional paper chats, nor the experienced navigator with his sextant, with his compass, and with his parallel ruler. The legacy of the first navigators who sailed the seas with precarious ships and primitive navigation charts will remain in force if there is someone who dares to sail the seas of the world.

Bajo Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional.

Hydrographic Services and Solutions

Global Capability. S-44 Expertise. Local Knowledge.

Multibeam Hydrographic Surveying

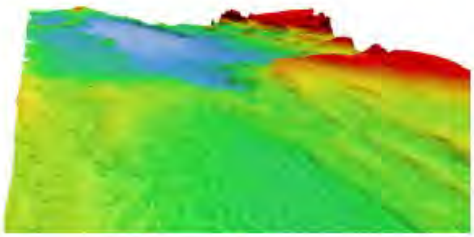
IIC specializes in multibeam surveys and data processing for government agencies and hydrographic stake holders.

All surveys meet S44 standards and are performed by a knowledgeable team that includes hydrographic surveyors and certified hydrographers.

Ancillary Services include:

- S57/S100 feature extraction
- backscatter acquisition and processing
- tide gauge installation and monitoring
- science sensor deployment
- separation model development, training, and consulting

For a digital copy of this brochure, please scan the QR code



www.iictechnologies.com
info@iictechnologies.com

IIC TECHNOLOGIES
NEW PATHS, NEW APPROACHES

https://www.iictechnologies.com