

ESTABLECIMIENTO DE LA APTITUD DE USO COMO CARACTERÍSTICA DE CALIDAD DE LA CARTOGRAFÍA DIGITAL COSTERA GENERADA POR EL CCCP

Ingeniero Catastral y Geodesta Fernando Afanador Franco 1*

Ingeniero Industrial Hugo Alberto Camacho Galindo 2*

División Zona Costera 1*.Oficina de Planeación Evaluación y Control Interno 2*

Centro Control Contaminación del Pacífico - CCCP

Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia

Tél: +52 (2) 727 26 37, Fax: +57 (2) - 727 11 80

e-mail: cccp@cccp.org.co

fafanador@cccp.org.co 1*

hcamacho@cccp.org.co 2*

Recibido en abril de 2004; aceptado en julio de 2004

RESUMEN

El establecimiento de la aptitud de uso como una característica de calidad de la cartografía de poblaciones costeras levantadas por el Centro Control Contaminación del Pacífico, CCCP, en el litoral Pacífico colombiano fue el objetivo del presente estudio. La aptitud de uso se define como aquellas utilidades que se le pueden dar a la cartografía, con base en las necesidades y requerimientos de la Dirección General Marítima, DIMAR. La importancia del estudio radica en que se trata de la única cartografía de detalle disponible en el país sobre esta zona. De allí la necesidad de establecer su verdadera aptitud de uso a través de una metodología técnicamente sustentada, la cual se llevó a cabo en el marco del proyecto de 'Caracterización y Evaluación del Litoral Pacífico Colombiano' y, a la vez, al interior del diseño del Sistema de Calidad de la Información Técnico-Científica Generada por el CCCP. Su alcance comprendió el establecimiento y aplicación de una metodología para determinar los usos que se le pudieran dar a la cartografía, con base en las necesidades cartográficas de la DIMAR. Los procedimientos básicos comprendieron: (i) El establecimiento de las necesidades cartográficas de la DIMAR, (ii) La determinación de la unidad más pequeña a cartografiar, (iii) El replanteamiento del estándar de exactitud posicional horizontal, (iv) El cálculo, por segunda vez, del indicador de exactitud establecido, (v) El agrupamiento del indicador y establecimiento de los usos de la cartografía. La aplicación de dicha metodología permitió encontrar que, aunque cierta cantidad de la cartografía de poblaciones costeras no cumple con el requisito de exactitud horizontal adoptado, es posible su utilización en otras actividades determinadas por el objeto y funciones esenciales de la DIMAR, en lo relacionado con las zonas costeras colombianas.

Palabras claves: Calidad, Cartografía Digital, Gestión de la Calidad, SIG, Metodología, Zonas Costeras.

ABSTRACT

The establishment of the use aptitude as a characteristic of quality of the cartography of coastal populations surveyed by the Pacific Pollution Control Center, CCCP, in the colombian Pacific coast, were the objective of the present study. The importance of the study resides in that is the only detailed cartography available in the country of these coastal areas. So, the necessity to establish their true use aptitude through a technically sustained methodology. The study was carried out inside the mark of the characterization and evaluation of the coast Colombian Pacific project and at the same time also, inside the design of the quality system of the scientist and technician information produced by the CCCP. Their reach understood the establishment and application of a methodology to determine the uses that could be given to the cartography, based in the cartographic necessities of the General Maritime Direction, DIMAR. The basic procedures understood: (i) The establishment of the cartographic necessities of the General Maritime Direction, (ii) The determination of the smallest unit to be mapped, (iii) The re-outlined of the horizontal accuracy standard, (iv) Compute, for second time, of the horizontal accuracy indicator established, (v) Grouping of the indicator and establishment of the uses of the cartography. The application of the methodology allowed to find that although, certain quantity of the coastal cartography of populations doesn't fulfill the adopted requirement of horizontal accuracy, it is possible use it in other activities settled down by the object and functions of the DIMAR on related with the colombian coastal areas.

Key words: Quality, Digital Cartography, Quality Management, GIS, Methodology, Coastal Areas.

INTRODUCCIÓN

Con base en los resultados de la evaluación de exactitud posicional de la cartografía de poblaciones costeras de los departamentos de Nariño y Valle del Cauca (CCCP, 2003), se determinó la necesidad de establecer la aptitud de uso de dicha cartografía, dado que se trata del único material de detalle disponible sobre estas importantes zonas costeras y se requería establecer su aptitud de uso dentro del contexto institucional de la DIMAR.

El trabajo es de relevancia para el CCCP y la DIMAR, por el desarrollo de una metodología sencilla que permite establecer el verdadero uso de la cartografía de poblaciones costeras levantadas por el Centro. Esta metodología podrá, a su vez, ser aplicada para la cartografía de poblaciones y sectores costeros censados y levantados en el Caribe colombiano, dentro del desarrollo de la caracterización y evaluación de las zonas costeras colombianas.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a las poblaciones costeras de los departamentos de Nariño y Valle del Cauca.

METODOLOGÍA

1. Planteamiento del problema

El problema a solucionar consistía en resolver la pregunta: ¿Cómo establecer la aptitud de uso de la cartografía digital de las poblaciones costeras de los departamentos de Nariño y Valle del Cauca, censadas y levantadas por el CCCP dentro del proyecto 'Caracterización y Evaluación del Litoral Pacífico Colombiano'?

Dicho problema conllevó, a su vez, a establecer una metodología que permitiera abordar su solución de una manera coherente.

2. Conformación del modelo teórico

Esta etapa consistió en seleccionar los enunciados teóricos que pudieran dar una explicación coherente a los hechos observados y solucionar el problema planteado, conformando así una hipótesis. La exactitud de la información contenida en un mapa se encuentra determinada por cuatro elementos

básicos: la proyección cartográfica, la escala, los puntos de control utilizados en su elaboración y la cuadrícula. No obstante, en el ámbito cartográfico es, comúnmente, aceptado y recomendado que la exactitud del mapa sea establecida en función del uso que se le dará.

Como referencia, el National Standard for Spatial Data Accuracy, NSSDA, recomienda que las agencias productoras identifiquen, establezcan y reporten, a través de metadatos cartográficos, exactitudes que sean alcanzables para sus aplicaciones, (Federal Geographic Data Committee, 1998).

Por su parte, el Indiana Geographic Information Council (2001) pone de presente que la exactitud de los mapas de una organización, en su Sistema de Información Geográfica (SIG), puede ser definida, únicamente, a través del conocimiento del uso del mismo.

De esta forma, desde el punto de vista teórico y práctico, lo más recomendable es establecer una exactitud cartográfica que cumpla con los requerimientos del usuario y que pueda ser alcanzada con los datos e infraestructura disponible en la organización productora del mapa. Naturalmente, la exactitud de los mapas producidos debe ser evaluada utilizando puntos de muestreo obtenidos por un método más exacto y preciso que el utilizado en la elaboración del mapa (Federal Geographic Data Committee, 1998).

La escala continúa siendo un factor importante en la exactitud de un mapa. Así, a medida que la escala del mapa se incrementa, igualmente lo debería hacer la exactitud. No obstante, la exactitud también se ve afectada por la calidad de los datos fuente utilizados para elaborar el mapa.

En términos cartográficos, la exactitud posicional ha sido definida por algunos autores como la medida de la variación en posición de las características del mapa (Foote y Huebner, 1995). Otros, en forma similar, la definen como la cercanía de los valores en posición de la entidad con respecto de su posición verdadera (Drummond, 1995).

Históricamente, el error medio y la desviación estándar han sido los elementos estadísticos que se han utilizado para representar la exactitud posicional. Dado que la totalidad de los errores en posición no se puede medir completamente, por lo

general, se utiliza la desviación con respecto a la media, de un grupo de medidas que pueden ser tomadas para representar el error (muestras). (Drummond, 1995).

Generalmente, los experimentos culminan con la toma de una medición numérica que cambia aleatoriamente, al considerar diferentes puntos muestreados. En el contexto cartográfico, la medición numérica del error en posición horizontal es una variable aleatoria continua, que puede tomar cualquier valor en un intervalo dado.

Algunos autores como Mikhail (1976) (En: Guptill & Morrison, 1995) sostienen que las variables aleatorias que representan mediciones en fotogrametría, geodesia o topografía, por lo general se distribuyen de manera normal. Es decir, su distribución de probabilidad se puede representar, adecuadamente, a través de la distribución normal (Fig. 1). Es por esta razón que, para el caso de errores en posición, las preguntas que se pueden contestar están relacionadas con intervalos (específicamente, en el caso de la cartografía): ¿Cuál es la probabilidad de que el error se encuentre entre a y b ? La respuesta a ese tipo de preguntas es: "el área correspondiente bajo la curva normal" (Willemain, 1980).

Tal como se mencionó anteriormente, como variabilidad de la medida de los errores en posición de los puntos muestreados se puede utilizar la desviación estándar, la cual decrece cuando los errores para cada punto son pequeños y viceversa. La desviación estándar también se utiliza en la predicción de la frecuencia esperada con la cual puede ocurrir un error. Para ello se utiliza el modelo de distribución normal que, junto con la media y la desviación estándar, permite el establecimiento de dicha frecuencia (Aronoff, 1989).

Los supuestos involucrados en este marco teórico fueron los siguientes:

- Los errores se distribuyen aleatoriamente sobre el mapa evaluado.
- Los puntos de muestreo seleccionados son representativos de todo el mapa.
- Se asume que la distribución normal es apta para predecir la exactitud posicional de un mapa.
- Se involucra una comparación de lo evaluado con una fuente independiente de medición de la posición. En este caso particular, las posiciones tomadas con GPS.

De acuerdo con lo anterior, se planteó una hipótesis verificable: "La escala y la exactitud posicional horizontal (estándar de exactitud cartográfica horizontal) son características de calidad determinantes para el uso que se le da a la cartografía". Con ésta se esperaba solucionar el problema planteado.

3. Prueba de la hipótesis

Para la verificación de la hipótesis planteada se siguieron las siguientes etapas:

3.1. Diseño experimental

Consistió en establecer la estructura lógica de la prueba de hipótesis. El diseño experimental involucró las siguientes actividades (Fig. 2):

- *Análisis de las necesidades cartográficas de la DIMAR.* Las necesidades cartográficas se analizaron con base en tres aspectos fundamentales: jurisdicción espacial, objeto y funciones de la DIMAR. Contenidos en el marco legal vigente, conformado por el Decreto 2324 de 1984, emanado de la Presidencia de la República.

- *Determinación de los elementos a visualizar dentro de la jurisdicción de la DIMAR.* De acuerdo con los resultados obtenidos del punto anterior, se estableció una clasificación de elementos a visualizar dentro de la cartografía digital de la DIMAR; además de aquellos considerados como críticos para la determinación de la escala. Para ello, se estableció la disposición espacial y tamaño promedio aproximado de los elementos considerados como críticos para la representación sobre un mapa. Estas dos características permitieron, a su vez, establecer una o varias escalas de representación para cada uno de ellos, garantizando una correcta y eficiente representación que satisfizo los requerimientos cartográficos de la DIMAR.

- *Análisis de la unidad más pequeña a visualizar.* Dado que el rango de escala comprendido entre 1:500 y 1:2000 es el más adecuado para representar la cartografía de poblaciones costeras levantadas por el CCCP, se tomó como el elemento básico para establecer y adoptar el estándar de exactitud

posicional horizontal para mapas digitales comprendidos dentro de este rango de escala de la cartografía de la DIMAR. Esta fue la metodología básica con la que se definió el nuevo valor del estándar de exactitud posicional horizontal.

- *Replanteamiento del valor del estándar de exactitud y nivel de confianza para el cálculo del indicador EXPOSI.* De acuerdo con los resultados obtenidos en el punto anterior, se redefinió el valor del estándar de exactitud posicional horizontal, tomado como referencia para comparar con el valor obtenido del indicador EXPOSI para cada mapa evaluado.

Igualmente, dado que el error en posición horizontal es, básicamente, una variable aleatoria continua y que su probabilidad de ocurrencia se expresa como áreas bajo la curva de la distribución normal, se utilizó el concepto de estimación del error a través del llamado intervalo de confianza; entendiéndose este último como la probabilidad de que el intervalo contenga al parámetro estimado (en este caso, el error en posición horizontal) (Mendenhall y Reinmuth, 1981). De esta forma, se tomaron dos nuevos valores de intervalo: 80 y 98%, con el fin de observar el comportamiento del indicador EXPOSI cuando estos intervalos cambiaran.

El tratamiento matemático que se realizó sobre las unidades experimentales consistió en lo siguiente:

- Cálculo del error posicional para cada punto de muestreo, tomando la magnitud del vector resultante de los errores en posición en el eje Este y en el eje Norte (Fig. 3), según la siguiente expresión:

$$\text{Error posicional} = \sqrt{(\text{Norte mapa} - \text{Norte terreno})^2 + (\text{Este mapa} - \text{Este terreno})^2} \quad (1)$$

- Cálculo del error medio para cada mapa evaluado:

$$\text{Error medio} = \left(\sum \text{error posicional} \right) \div n \quad (2)$$

donde,

n es el número de puntos

- Cálculo de la desviación estándar del error medio para cada mapa evaluado:

$$s = \sqrt{\left(\sum \left(\left(\text{error posicional} - \text{error medio} \right)^2 \right) \right) \div n} \quad (3)$$

- Cálculo del indicador de exactitud posicional, EXPOSI:

$$\text{EXPOSI} = \text{Error medio} + (\text{Constante gaussiana} \times s) \quad (4)$$

Dicho tratamiento matemático se realizó diligenciando la matriz 'Cálculo del Indicador Expositivo' (Fig. 4).

- *Agrupamiento de los valores obtenidos del indicador EXPOSI y establecimiento de los usos de la cartografía.*

- *Secuencia temporal de aplicación y medición de las unidades experimentales.* Para su establecimiento, sobre los puntos de muestreo, fue considerada como dependiente de la frecuencia con la cual se actualice la cartografía digital de las poblaciones costeras del litoral Pacífico colombiano. De esta forma, toda vez que se actualice un mapa digital de estas poblaciones será necesario aplicar y calcular el indicador EXPOSI, tomando, en la medida de lo posible, como unidades experimentales o puntos de muestreo, los rasgos estables más característicos de los elementos actualizados del terreno.

RESULTADOS

La aplicación de la prueba experimental produjo los siguientes resultados:

- *Necesidades cartográficas de la DIMAR.*

La revisión de los tres aspectos fundamentales del Decreto 2324 de 1984 permitió establecer entidades espaciales que requerían ser representadas en la cartografía de la DIMAR. Este procedimiento se llevó a cabo mediante una asociación simple de elementos, actividades y funciones con entidades espaciales que permitieran su representación gráfica en un mapa digital (Fig. 5).

- *Establecimiento de los elementos a visualizar dentro de la jurisdicción de la DIMAR.*

Esta etapa consistió en establecer la disposición espacial y tamaño promedio aproximado de los elementos considerados como críticos para

la representación sobre un mapa. Estas dos características permitieron, a su vez, establecer una o varias escalas de representación para cada uno de ellos, buscando su correcta y eficiente representación para la satisfacción de los requerimientos cartográficos de la DIMAR (tablas 1 y 2).

- *Análisis de la unidad más pequeña a visualizar.*

A la cartografía de escalas 1:25000 y 1:25001 hasta 1:250000 no se le realizó el análisis de unidad más pequeña a visualizar, debido a que el CCCP no produce directamente esta cartografía, por no poseer la infraestructura tecnológica necesaria para ello. Por lo anterior, se asume que esta cartografía producida por el IGAC, cumple con el requisito estándar de exactitud posicional horizontal de ± 0.5 mm, referido a la escala de publicación y que los procesos de digitalización, edición e impresión de dicha cartografía efectuados por el CCCP no introducen errores considerables a la exactitud posicional de la misma.

Esta suposición se basó en el hecho de que las tablas digitalizadoras y el plotter, utilizados en el procesamiento de dicha cartografía, poseen la capacidad para garantizar una precisión adecuada (resolución espacial de 0.01 a 0.25 mm en el caso de las mesas digitalizadoras (Calcomp Technologies INC., 1997) y $\pm 0.2\%$ de la longitud trazada, para el caso del plotter) al requisito estándar de exactitud posicional (± 0.5 mm).

De acuerdo con esto, dado que en el Pacífico colombiano a través de la experiencia obtenida por medio de los censos de áreas de bajamar, se estima que el tamaño mínimo de las construcciones típicas que se presentan en las zonas costeras bajo jurisdicción de la DIMAR es de 2 x 2 m en promedio. Así se estableció un área de 4 m² como la unidad más pequeña que se requería visualizar.

- *Replanteamiento del estándar de exactitud y nivel de confianza para el cálculo del indicador EXPOSI.*

Con base en el resultado de la etapa anterior, se adoptó como nuevo estándar de exactitud posicional horizontal de la cartografía a escalas 1:500 hasta 1:2000 que: *"El 90% de los elementos bien definidos estarán ubicados dentro de un rango máximo de ± 2 mm al referirse a la proyección del mapa"*.

- *Cálculo del Indicador de Exactitud Posicional Horizontal, EXPOSI.*

La aplicación del indicador EXPOSI, modificado con los dos nuevos valores de intervalo de confianza y comparado contra el nuevo estándar, arrojó como resultado el incremento en tres mapas la cantidad de cartografía que cumple con el nuevo estándar de exactitud adoptado (Tabla 3), con respecto a los resultados obtenidos en la evaluación inicial de exactitud posicional efectuada por personal del CCCP (CCCP, 2003).

En este caso particular, el resultado es independiente del nivel de certeza o confianza adoptado (98 u 80%) para el cálculo del indicador EXPOSI.

- *Agrupamiento del indicador y establecimiento de los usos de la cartografía.*

El agrupamiento en intervalos de clase se realizó sobre los resultados de la aplicación del indicador EXPOSI modificado con un nivel de certeza del 80%, dado que los valores son más pequeños que los obtenidos con el 98% de certeza (Tabla 4 y Fig. 6).

DISCUSIÓN

Si bien es cierto que el 72% (18 de 25 mapas) de la cartografía evaluada supera el error de ± 5 m y se toman en cuenta el objetivo y las funciones de la DIMAR, es posible asignar usos a dicha cartografía. Una de las limitaciones del estudio fue la metodología utilizada para la asignación de los usos a la cartografía evaluada. Ésta fue realizada con base en los elementos espaciales que se requerían visualizar para el desarrollo de otras actividades y funciones de la DIMAR, dado que no se disponía de criterios cuantitativos que permitieran asignar el uso a la cartografía evaluada.

Determinar la aptitud de uso como característica de calidad dentro del contexto cartográfico en el CCCP es de relevancia, ya que con base en este concepto se puede dar una mayor utilidad a la cartografía que no cumpla con la exactitud posicional referida por el indicador Exposi.

La característica de calidad es inherente a un producto, proceso o sistema relacionado con un requisito (Icontec, 2000). Con base en lo anterior, la escala y la exactitud deben ser características de calidad inherentes al proceso de generación de cartografía digital, básica y temática desarrollada por

el CCCP, ya que estos dos parámetros son el principal insumo para definir la aptitud de uso de cada mapa.

Las aplicaciones prácticas que se prevén sobre la metodología empleada y los resultados obtenidos en este estudio están relacionadas con la evaluación de cartografía similar de otros departamentos del litoral Pacífico y del Caribe colombiano, censados y cartografiados tanto por el CCCP como por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, CIOH.

La contribución del presente estudio consiste en establecer una metodología clara y sencilla para la evaluación de la exactitud posicional de la cartografía de poblaciones costeras censadas y levantadas por la DIMAR, complementada por la asignación de usos alternativos de esta cartografía, basados en los niveles de exactitud obtenidos.

Dicha metodología podrá ser aplicada por otras instituciones nacionales que produzcan cartografía y requieran tener un conocimiento técnicamente sustentado sobre la exactitud posicional horizontal de la cartografía que producen.

Uno de los principales supuestos del estudio consistió en que las medidas y cálculos de la posición tomadas con GPS se encontraban libres de error. Este supuesto permitió establecer estas medidas como elemento de control o referencia, lo que realmente no tuvo en cuenta las posibles fallas de funcionamiento del GPS, así como las fallas ni errores en los cálculos y transformación de coordenadas. Todas ellas, fallas que deben ser tenidas en cuenta en la medida en que se disponga de controles metrológicos que aseguren el correcto tratamiento de los datos.

De manera similar, otra de las suposiciones introducidas en el presente estudio fue la de considerar que el error se comporta de manera igual en el eje X (Este) y en el eje Y (Norte). Dicha consideración se tomó en cuenta por efectos de simplicidad en los cálculos y estimación del indicador de exactitud posicional definido. No obstante, se considera posible estimar valores de error posicional para los dos ejes (X y Y) por separado y, asimismo, estimar valores separados de indicador de exactitud posicional para los dos ejes. Estos cálculos es posible efectuarlos si se desea una evaluación más detallada y real del comportamiento del error en un mapa.

Otras instituciones oficiales, como la Empresa Colombiana de Petróleos, Ecopetrol, en sus estándares de información geográfica establecen las normas mínimas que se deben cumplir para la adquisición de información geográfica (Ecopetrol, 1998) y en la parte correspondiente a los estándares para exactitud de mapas utiliza el error medio cuadrático promedio (RMSE) de las diferencias al cuadrado entre las coordenadas del mapa y las levantadas en forma independiente, como valor del estándar adoptado para tres clases de mapas. De igual manera, el Instituto de Investigaciones e Información Geocientífica, Mineroambiental y Nuclear, Ingeominas, utiliza el RMSE en sus Guías de Información Geocientífica Digital (Ingeominas, 1999), tal como se mencionó con antelación.

Es de anotar que el concepto de RMSE también es utilizado como parte de la estimación de exactitud posicional horizontal presentada en este estudio bajo el nombre de error medio (definido como la sumatoria de los errores posicionales dividido entre el número de puntos de muestreo). Sin embargo, la metodología aquí planteada involucra el concepto de probabilidad de ocurrencia del error, lo que podría facilitar un poco más la comprensión por parte de los usuarios de los mapas de su verdadera aptitud de uso, de acuerdo con sus necesidades.

Por otra parte, el estándar de exactitud posicional fue establecido para proporcionar un mecanismo común de reporte para que los usuarios puedan comparar directamente los mapas para sus aplicaciones. La evaluación de la exactitud refleja todas las incertidumbres, incluyendo aquellas introducidas por los puntos de control geodésico, compilación y cálculos finales de las coordenadas de los puntos del mapa.

El modelo teórico (hipótesis) planteado se considera parcialmente confirmado, dado que la clasificación de la aptitud de uso efectuada requiere de una validación posterior, por parte de los usuarios directos y potenciales. Dicha validación consiste en establecer la verdadera utilidad de la cartografía para el desarrollo de las actividades planteadas en la clasificación efectuada. Con base en esta evaluación será posible establecer, si la hipótesis planteada en el presente estudio fue confirmada o no.

CONCLUSIONES

- Con la aplicación de un mayor valor de intervalo de confianza (98%) en el cálculo del indicador EXPOSI se observaron valores de error más grandes, asociados con una probabilidad mayor de ocurrencia (98%). Por el contrario, con la aplicación de un intervalo menor (80%) se obtuvieron errores más pequeños, asociados con una probabilidad menor de ocurrencia, tal como se aprecia en la Tabla 3.

- En términos prácticos, lo anterior significa que al aumentar el nivel de certeza en el cálculo del indicador la estimación de la exactitud posicional horizontal de la cartografía disminuirá al presentar errores más grandes y, por consiguiente, al disminuir el nivel de certeza el estimativo de la exactitud aumentará al presentar errores más pequeños.

- De otra parte, al seguir la metodología planteada y agrupar los resultados obtenidos del indicador EXPOSI, se observa que tan sólo el 28% (7 de 25 mapas) de los mapas de poblaciones costeras evaluados presentan una exactitud posicional horizontal adecuada para los fines de autorización y control de concesiones, permisos y construcciones sobre los bienes de uso público bajo jurisdicción de la DIMAR.

- Finalmente, los resultados obtenidos en el estudio mostraron que, aunque la exactitud posicional de los mapas evaluados no fue aceptable en su gran mayoría, a través de la aplicación de una metodología simple se logró establecer un uso a la totalidad de la cartografía evaluada, teniendo en cuenta las necesidades cartográficas de la DIMAR; lo que contribuye de manera directa a la solución del problema planteado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al personal de la Sección de Levantamientos y SIG del CCCP, por su apoyo en la obtención de datos.

Igualmente, a los revisores externos por sus orientaciones y recomendaciones para el buen término de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aronoff, S. 1989. Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL Publications, Ottawa. ISBN 0-921804-00-8, p. 144.

Calcomp Technologies INC. 1997. Summagrid V. User's Guide.

Centro Control Contaminación del Pacífico. 2003. Control de Calidad Cartográfica Costera Levantada por el CCCP dentro de la Caracterización del Litoral Pacífico, Utilizando el Indicador de Exactitud Posicional de la Cartografía Base (Departamentos de Nariño, Cauca y Valle del Cauca). Informe técnico. San Andrés de Tumaco : CCCP, Colombia.

Drummond, J. 1998. Positional Accuracy. En: Elements Of Spatial Data Quality. Guptill, S. y J. Morrison. 1995. International Cartographic Association. ISBN: 0080424325, pp. 31-38.

Empresa Colombiana de Petróleos. 1998. Estándares de Información Geográfica. Guías de Información Geográfica Digital. Versión 3.0. ICP. Ecopetrol, Colombia.

Federal Geographic Data Committee, 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards. Part 3: National Standards for Spatial Data Accuracy.

Foot, K. & D. Huebner. 1995. Error Accuracy and Precision [en-línea] URL: <http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/error/error.html>. [Consulta: 15 marzo 1998].

Guptill, S. & J. Morrison. 1995. Elements of Spatial Data Quality. International Cartographic Association. ISBN: 0080424325.

Indiana Geographic Information Council. 2001. Map Scale and Accuracy Standard.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. 2000. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 9000. Sistemas de Gestión de la Calidad. Fundamentos y Vocabulario. Icontec. Bogotá, Colombia.

Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Mineroambiental y Nuclear. 1999. Guías de Información Geocientífica Digital, Ingeominas. Versión preliminar. Bogotá, Colombia.

Mendenhall, W. y J. Reinmuth. 1981. Estadística para Administración y Economía. Grupo Editorial Iberoamérica, 707pp. ISBN 9687270136.

Mikhail, E. 1976. Observations and Last Squares. En: Guptill, S. & J. Morrison. 1995. Elements of Spatial Data Quality. International Cartographic Association. ISBN: 0080424325, p. 38.

Decreto 2324 de 1984. Por el Cual se Reorganiza la Dirección General Marítima. Presidencias de la República de Colombia.

Willemain, T. 1980. Statistical Methods for Planners, The MIT Press. ISBN: 0-262-23101-8.

FIGURAS Y TABLAS

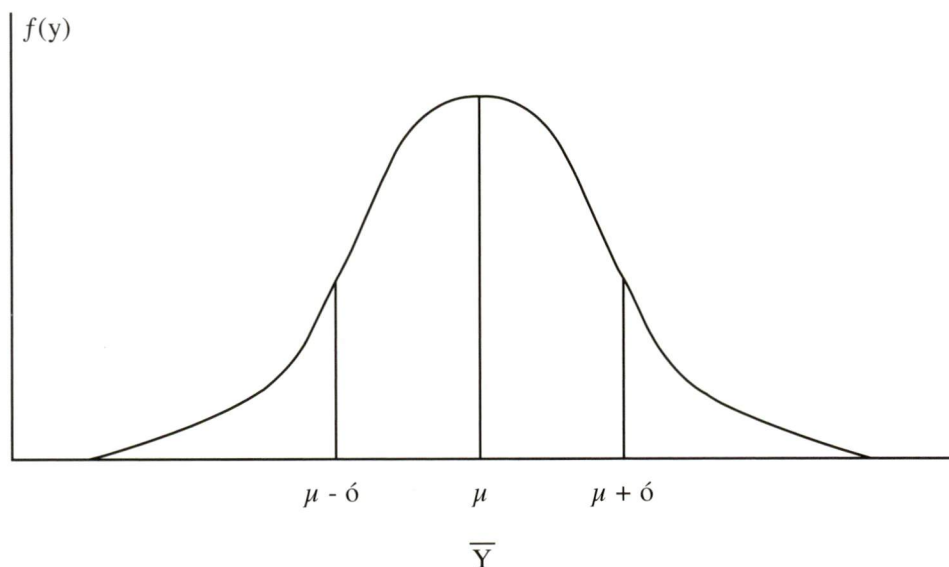


Figura 1. Función de densidad de probabilidad normal.

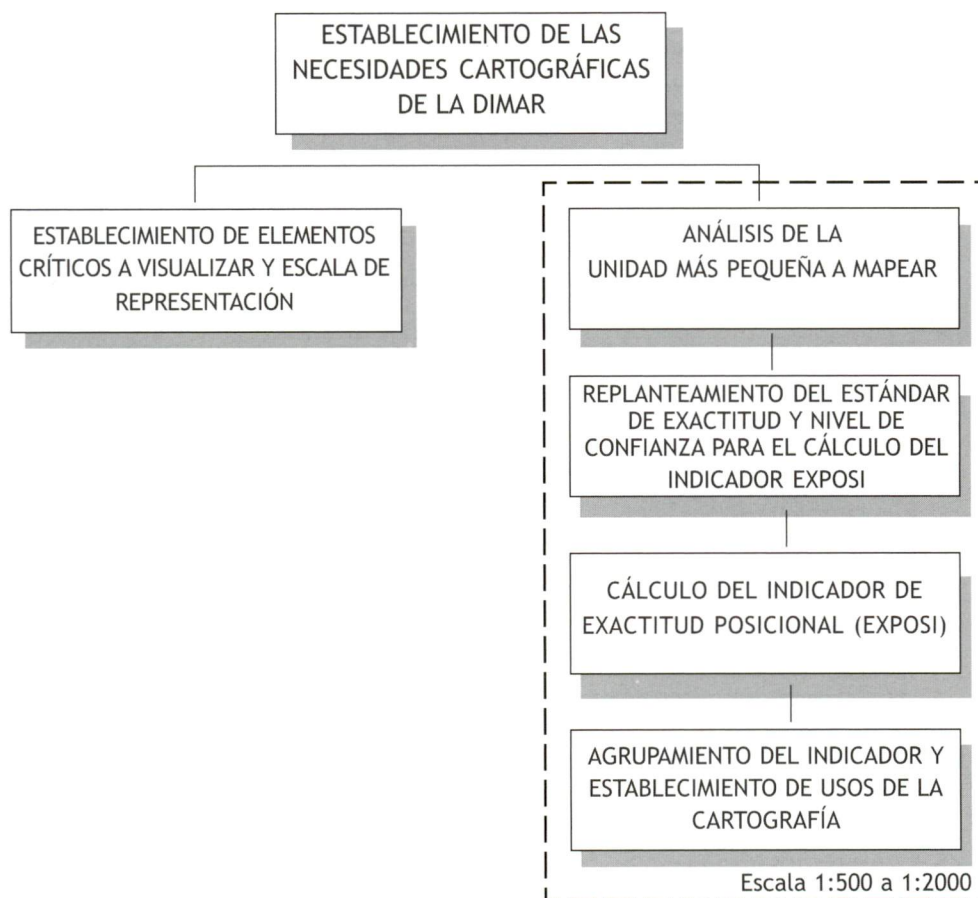


Figura 2. Modelo conceptual general del diseño experimental.

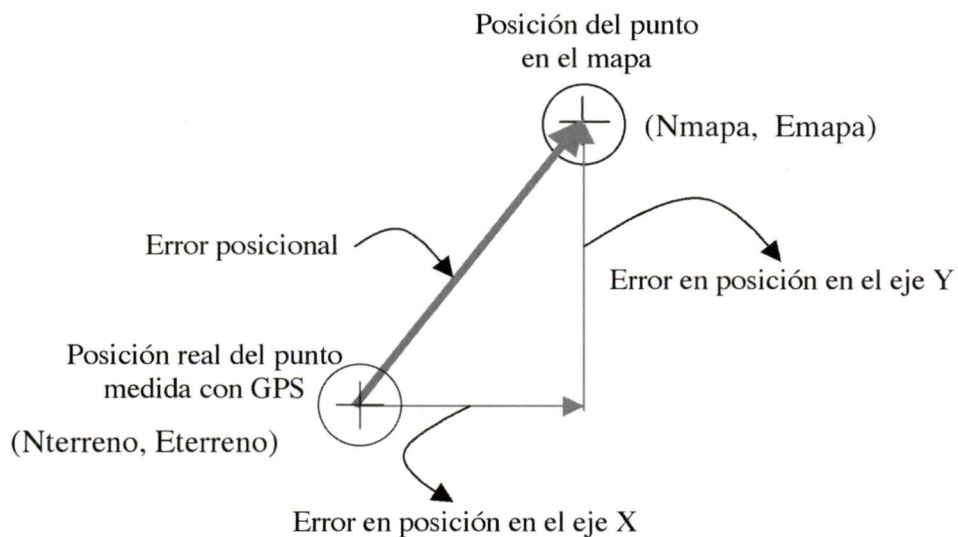
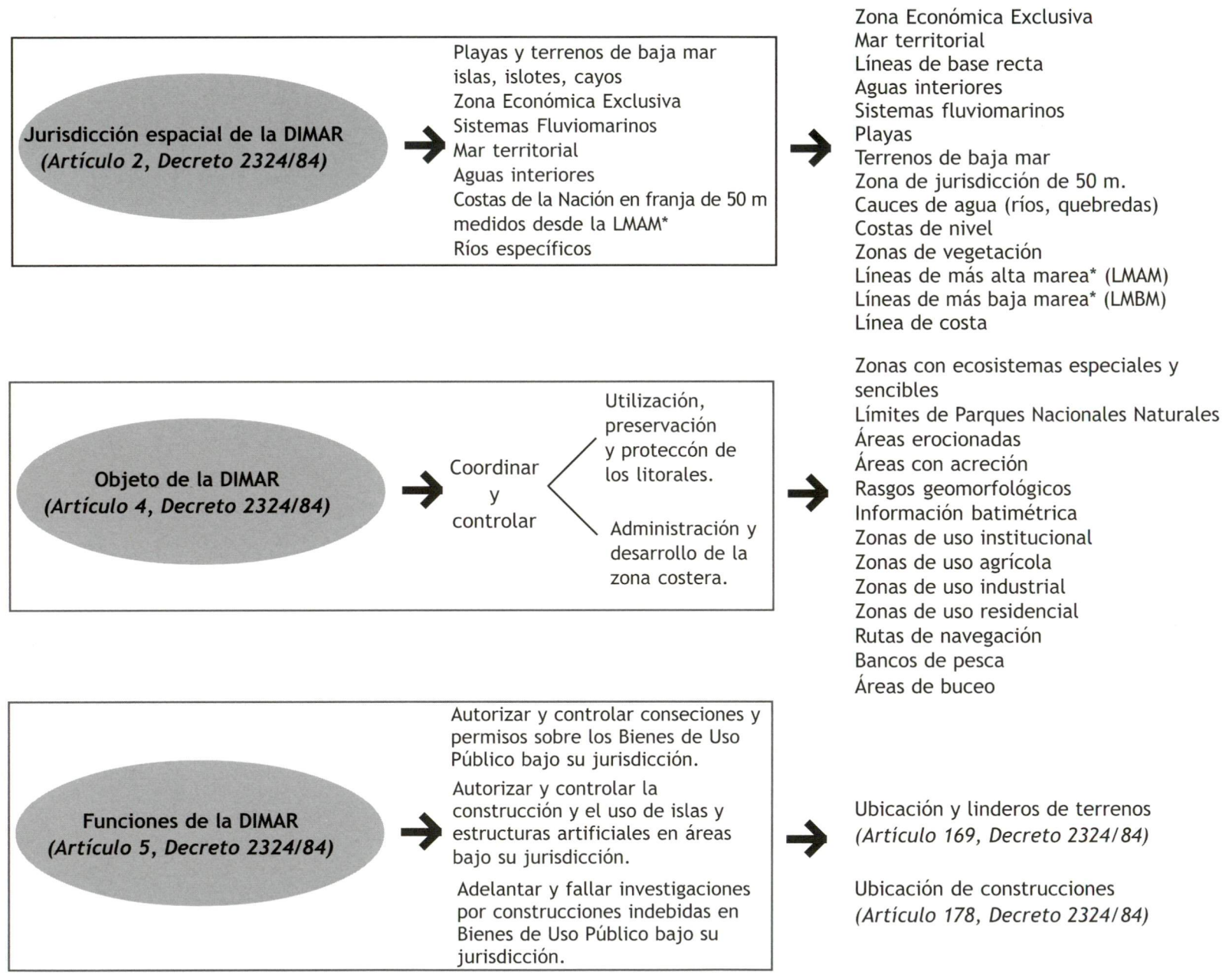


Figura 3. Vector resultante del error en posición para un punto muestreado.

CÁLCULO DEL INDICADOR EXPOSI				
Departamento	<input type="text"/>			
Población	<input type="text"/>			
Coordenadas				
N mapa	N terreno	E mapa	E terreno	Error posicional
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
No. de puntos	<input type="text"/>			
Error medio del mapa	<input type="text"/>			
Desviación estándar del error	<input type="text"/>			
Valor de z	<input type="text"/>			
Nivel de confianza adoptado	<input type="text"/>			
Indicador EXPOSI	<input type="text"/>			
Estándar adoptado	<input type="text"/>			
Escala del mapa	<input type="text"/>			
Exactitud posicional	Aceptable	No Aceptable		
Intepretación del indicador				
<input type="text"/>				

Figura 4. Matriz para el cálculo del indicador EXPOSI.

Figura 5. Análisis de las necesidades cartográficas de la DIMAR.



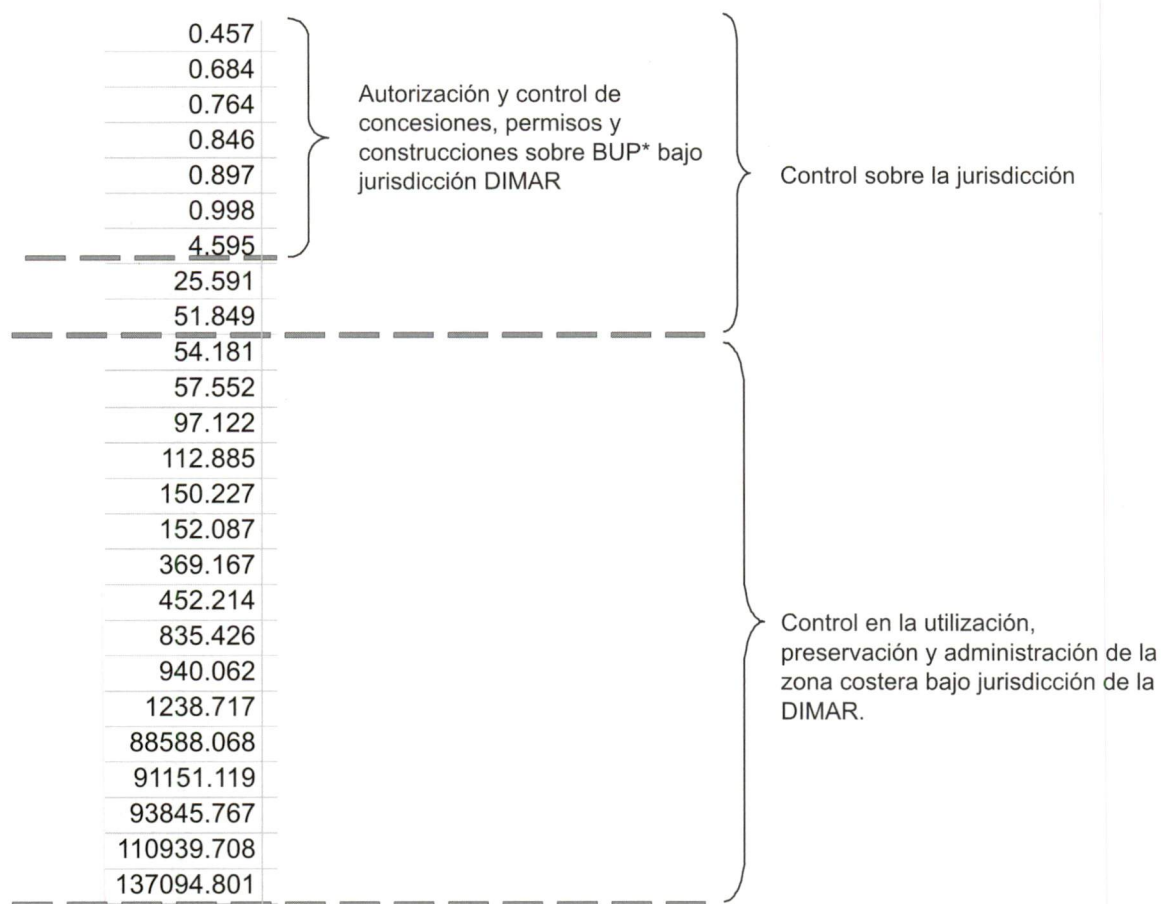


Figura 6. Agrupamiento de los valores del indicador Exposi y asignación de usos de la cartografía.

*BUP: Bienes de Uso Público.

Tabla 1. Elementos a visualizar dentro de la jurisdicción de la DIMAR. Los elementos señalados en cursiva corresponden a los críticos en la representación sobre un mapa digital.

Clase de elemento a visualizar	Elemento a visualizar
Hidrológicos	<i>Cauces y cuerpos de agua</i>
Topográficos	Batimetría
	Cotas de nivel
Vegetación	Zonas con vegetación
	Zonas con ecosistemas especiales y sensibles
	Zonas de Parques Nacionales Naturales
Hidrodinámicos	<i>Línea de más alta marea</i>
	<i>Línea de más baja marea</i>
	<i>Línea de costa</i>
Jurisdicción de la DIMAR	<i>Zona Económica Exclusiva</i>
	<i>Mar territorial</i>
	<i>Líneas de base recta</i>
	<i>Aguas interiores</i>
	<i>Sistemas fluviomarinos</i>
	<i>Playas</i>
	<i>Islas, islotes, cayos</i>
	<i>Construcciones (colegios, escuelas, unidades militares, hospitales, puestos de salud, iglesias, oficinas estatales)</i>
	<i>Terrenos de bajamar</i>
	<i>Zona de jurisdicción de 50 metros</i>
<i>Ríos (los estipulados en el Artículo 2, Decreto 2324/84)</i>	
Elementos geomorfológicos	Unidades y rasgos geomorfológicos
	Áreas erosionadas
	Áreas con acreción
Uso del suelo	Zonas de uso institucional
	Zonas de uso agrícola
	Zonas de uso industrial
	Zonas de uso residencial
Uso de las aguas marinas	<i>Rutas de navegación</i>
	<i>Bancos de pesca</i>
	<i>Áreas de buceo</i>

Tabla 2. Disposición espacial y escala de representación de los elementos críticos a visualizar en la cartografía de la DIMAR.

Elemento crítico a visualizar	Disposición espacial y tamaño promedio	Escala adecuada para su visualización
Zona Económica Exclusiva	Aledaña al mar territorial. Ancho máximo de 370 km (Ley 10/78).	1:25000 1:25001 a 1:250000
Mar territorial	Medido desde las líneas de base recta. Ancho máximo de 22 km (Ley 10/78).	1:25000 1:25001 a 1:250000
Líneas de base recta	Definidas a lo largo de la costa Pacífica (Decreto 1436/84).	1:1000000
Aguas interiores	Aguas a lo largo de la costa Pacífica encerradas por las líneas de base recta.	1:1000000
Sistemas fluviomarinos	Disposición espacial variable y su tamaño también a lo largo del litoral. Por ello requiere escalas detallada y general.	1:500 a 1:2000 1:25000 1:25001 a 1:1:250000
Playas	Disposición espacial variable y su tamaño también a lo largo del litoral. Por ello requiere escalas detallada y general.	1:500 a 1:2000
Rutas de navegación	Disposición espacial variable y su tamaño también a lo largo del litoral. Por ello, requiere escalas detallada y general.	1:500 a 1:2000 1:25000 1:25001 a 1:250000
Bancos de pesca	Disposición espacial variable y su tamaño también a lo largo del litoral. Por ello requiere escalas detallada y general.	1:500 a 1:2000 1:25000 1:25001 a 1:250000
Áreas de buceo	Disposición espacial variable y su tamaño también a lo largo del litoral. Por ello requiere escalas detallada y general.	1:500 a 1:2000 1:25000 1:25001 a 1:250000
Terrenos de bajamar	Disposición espacial variable y su tamaño también a lo largo del litoral. Por ello requiere escalas detallada y general.	1:500 a 1:2000 1:25000 1:25001 a 1:250000
Zona de jurisdicción de 50 metros	Disposición espacial variable dependiendo de la ubicación de la línea de más alta marea. Dado su tamaño fijo requiere una escala detallada para su visualización.	1:500 a 1:2000
Construcciones dentro de la jurisdicción de la DIMAR	Disposición espacial variable dependiendo de las condiciones naturales, económicas y sociales de cada región. Por lo general el tamaño mínimo es de 2x2 metros, por lo cual requiere una escala detallada para su visualización.	1:500 a 1:2000

Tabla 3. Resultados de la aplicación del Indicador Expositivo por segunda vez.

DEPARTAMENTO	POBLACIÓN	INDICADOR EXPOSITIVO		ERROR PERMITIDO	EXACTITUD ACEPTABLE
		Con Nivel de Confinza del 98%	Con Nivel de Confinza del 80%		
Nariño	Tasquita	0.543	0.457	± 2.0 m	SI
	Hojas Blancas	1673.815	1238.717	± 2.0 m	NO
	Chico Pérez	110994.5	110939.708	± 2.0 m	NO
	Cuerval	835.894	835.426	± 2.0 m	NO
	Teherán	6.905	4.595	± 2.0 m	NO
	Punta Icacos	0.833	0.684	± 2.0 m	SI
	Chontal	113.813	112.885	± 2.0 m	NO
	Juanchillo	143939.061	93845.767	± 4.0 m	NO
Valle del Cauca	Gorgona	154.086	152.087	± 4.0 m	NO
	Concherito	612.753	452.214	± 4.0 m	NO
	Boca Mallorquín	137627.89	137094.801	± 4.0 m	NO
	Changay	56.150	54.181	± 4.0 m	NO
	Punta Soldado	25.591	25.591	± 4.0 m	NO
	Juanchaco	150.607	150.227	± 6.0 m	NO
	Las Palmas	0.764	0.764	± 4.0 m	SI
	La Contra	91242.610	91151.119	± 2.0 m	NO
	Guayabal	1439.873	940.062	± 4.0 m	NO
	Firme Bonito	88614.476	88588.068	± 4.0 m	NO
	El Pital	510.040	369.167	± 4.0 m	NO
	Vista Hermosa	62.993	57.552	± 2.0 m	NO
	La Bocana	53.351	51.849	± 4.0 m	NO
	Punta Bonita	122.447	97.122	± 4.0 m	NO
	Santa Ana	1.173	0.897	± 4.0 m	SI
	San Andresito	1.092	0.846	± 2.0 m	SI
	Gumani	1.373	0.998	± 4.0 m	SI

Tabla 4. Usos de la cartografía de poblaciones costeras y rangos adoptados para el indicador EXPOSI.

USO DE LA CARTOGRAFÍA ESCALA 1:500 HASTA 1:2000 DE POBLACIONES COSTERAS CENSADAS Y LEVANTADAS POR EL CCCP	RANGO ADOPTADO PARA EL VALOR DEL INDICADOR EXPOSI *	OBSERVACIONES
Autorización y control de concesiones, permisos y construcciones sobre bienes de uso público bajo jurisdicción de la DIMAR	0 a 4 m *	Para estas actividades se requiere alta exactitud posicional; por lo tanto, la cartografía debe cumplir con el requisito estándar adoptado de ± 2 mm, referidos a la escala del mapa. Dado que la escala corresponde al rango 1:500 hasta 1:2000, el rango para el valor del indicador EXPOSI será de 0 a 4 m (2 mm a escala 1:500 son 2 m y 2 mm a escala 1:2000 son 4 m).
Actividades sobre control de la jurisdicción de la DIMAR	0 a 50 m *	En este tipo de actividades, la exactitud posicional horizontal requerida se considera media. Debido a que es necesario disponer de información cartográfica de la zona de jurisdicción sobre 50 m, medidos desde la línea de más alta marea, se considera este valor como el límite máximo del rango adoptado para el valor del indicador EXPOSI.
Control en la utilización, preservación y administración de la zona costera bajo jurisdicción de la DIMAR	50.1 m en adelante	Para el desarrollo de este tipo de actividades se considera necesaria una exactitud media a baja, debido, fundamentalmente, a que lo que se requiere es representar cartográficamente parte de grandes zonas de ecosistemas, parques naturales, rasgos geomorfológicos y zonas de uso del suelo, que, en general, no requieren de una alta exactitud posicional para su eficaz representación.

* El valor obtenido del indicador EXPOSI, sea cual fuere, deberá ser declarado en el reporte de metadatos cartográficos de cada mapa digital producido por el CCCP.