



Coberturas Naturales digitalizadas de 1a Edición de Hojas Cartográficas

escalas 1:25 000 y 1:50 000
de Costa Rica.

Informe Técnico

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

MARVIVA

ISBN Obra independiente: 978-9930-617-45-8

Julio Calvo-Alvarado • Vladimir Jiménez • Dorian Carvajal • Marco Castro Campos

Noviembre de 2023



**Coberturas
Naturales digitalizadas
de 1a Edición de
Hojas Cartográficas**
escalas 1:25 000 y 1:50 000
de Costa Rica

Observaciones para el usuario:

La cartografía digital generada en este estudio está disponible en el sitio web del Sistema Nacional de Información Territorial de Costa Rica ([SNIT-CARTOGRAFIA PRIAS](#)), toda la información que contiene esta cartografía es de acceso libre al público. Por lo tanto, no se requiere de permiso alguno para utilizar las Cartografías Digitales publicadas ni las Imágenes de los Mapas incluidos en este Informe Técnico. Pero se solicita reconocer la fuente de información y la autoría, según las citas aquí sugeridas.

Se advierte a los usuarios que las cartografías digitales generadas en este estudio reflejan las coberturas naturales de Costa Rica tal y como fueron foto-interpretadas, clasificadas y publicadas por el Instituto Geográfico Nacional en las primeras ediciones de las hojas cartográficas escalas 1:25 000 y 1:50 000.

Citas bibliográficas sugeridas:

Informe Técnico:

Calvo-Alvarado, J., Jiménez, V., Carvajal, D. y Castro Campos, M. (2023). *Coberturas Naturales digitalizadas de la Edición de Hojas Cartográficas escalas 1:25 000 y 1:50 000 de Costa Rica*. Informe Técnico. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Fundación MarViva. Cartago, Costa Rica. 38 pp. [URI:https://hdl.handle.net/2238/14626](https://hdl.handle.net/2238/14626)

Mapas Digitales de Cobertura Naturales extraídas de la Primera Edición Hojas Cartográficas escala 1:25 000 y 1:50 000.

Carvajal, D., Jiménez, V., Castro-Campos, M. y J. Calvo-Alvarado, J. (2023). *Mapa digital de Coberturas Naturales digitalizadas de la Primera Edición Hojas Cartográficas escala 1:25 000*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Fundación MarViva. Cartago, Costa Rica. Dirección SNIT: [SNIT-CARTOGRAFIA PRIAS](#)

Jiménez, V., Carvajal, D., Castro-Campos, M. y J. Calvo-Alvarado, J. (2023). *Mapa digital de Coberturas Naturales digitalizadas de la Primera Edición Hojas Cartográficas escalas 1:50 000*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Fundación MarViva. Cartago, Costa Rica. Dirección SNIT: [SNIT-CARTOGRAFIA PRIAS](#)

Contactos:

Centro de Investigación e Innovación Forestal.

Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cartago, Costa Rica

(+506) 25509022

E-Mail: unidadvf@itcr.ac.cr

Fundación MarViva

San José, Costa Rica

(+506) 40522500

E-Mail: info@marviva.net

Reconocimiento Especial

Deseamos reconocer el extraordinario aporte que el Instituto Geográfico Nacional (IGN) ha realizado en el levantamiento de la cartografía nacional, elemento sustancial para el impulso del desarrollo del país. Hasta hoy, esta cartografía ha sido ampliamente reconocida por su trascendental contribución en la definición de límites territoriales, el ordenamiento y planificación de la infraestructura y el territorio, y en las obligaciones del estado en catastro y registro de la propiedad.

También la cartografía del IGN ha sido reconocida por ser un pilar para el desarrollo de muchos estudios geofísicos de relevancia científica y aplicada. Sin embargo, inexplicablemente, el uso y reconocimiento de las coberturas naturales, contenidas en esta cartografía ha sido subestimada, algo que no corresponde a su indudable potencial para la conservación y estudio de nuestros ecosistemas terrestres. Esperamos que la disponibilidad en formato digital y de acceso abierto de las coberturas naturales de las primeras ediciones de las hojas cartográficas de Costa Rica, se convierta en una línea base cartográfica comparable, que estimule su mayor uso para una mejor valoración y conservación de nuestros ecosistemas terrestres.

Especialmente queremos resaltar el mérito de los pioneros del estudio de la geografía, la ecología y la cartografía del Instituto Físico Geográfico de Costa Rica constituido en el año 1889, y a todo el personal del Instituto Geográfico Nacional organizado en 1944, siendo el segundo el ejecutor de la cartografía tratada en este estudio.

Contenidos

1. Resumen	9
2. Introducción.....	11
3. Historia la primera edición de las hojas cartográficas de Costa Rica año 1945 y 1945-67.	13
4. Materiales y métodos.....	15
4.1 Adquisición y preparación de hojas cartográficas.....	15
4.2 Georreferenciación y Digitalización de Hojas Cartográficas.	16
4.3. Análisis de coberturas naturales y consistencia de clasificación.	18
4.4. Publicación de capas de coberturas en el SNIT.	18
5. Resultados.	18
5.1 Descripción de los mosaicos de hojas cartográficas 1: 25 000 y 1: 50 000.....	18
5. 2 Georreferenciación y digitalización de hojas cartográficas.	20
5.3 Análisis de las Coberturas y consistencia de clasificación para cada capa.....	21
5.4 Inconsistencias en clasificación de coberturas en hojas cartográficas 1:25 000 y 1:50 000.....	24
5.4.1 Errores de clasificación de manglar en las hojas cartográficas 1:25 000.	24
5.4.2 Clasificación inconclusa de cartográfica Marbella 1:25 000.	25
5.4.3. Error de clasificación de un manglar en hoja cartográfica Quepos 1:50 000.	25
5.4.4. Omisión de clasificación de cobertura de "Yolillo" en Laguna Corcovado.	26
5.4.5. Clasificación de cobertura "marisma" en lugar de "ciénaga o pantano".	26
5.4.6. Clasificación de Cobertura "Sabanas" en lugar de la cobertura "Páramo".	27
5.4.7. Clasificación de cobertura "Ciénaga o Pantano" en lugar de "Bosque y Yolillo".	27
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	28
7. Reconocimientos:.....	29
8. Referencias.....	29
9. Anexos	31
Anexo 1. Hoja cartográfica 1:25 000 Lepanto, basado en fotografías aéreas 1945 y publicada en 1957 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.	31
Anexo 2. Hoja cartográfica 1:50 000 Fortuna, basado en fotografías aéreas 1961 y publicada en 1966 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.	32
Anexo 3. Listado de hojas cartográficas 1:25 000 con años de fotografía aérea, fecha de impresión y año de actualización	33
Anexo 4. Listado de hojas cartográficas 1:50 000, año y rango de años de fotografía aérea. años de actualización y año de impresión.	36

1. Resumen

Este informe describe el proceso y los resultados de la digitalización de las primeras ediciones de las hojas cartográficas de Costa Rica, generadas y publicadas en formato impreso, por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica (IGN), a escalas 1:25 000 y 1:50 000. Estas hojas cartográficas contienen valiosa información impresa sobre coberturas naturales tales como: bosques, humedales, sabanas, yolillales, manglares y cuerpos de agua. Esta información al no estar disponible en formato digital ha sido inexplorada, por su difícil acceso, por parte de muchos potenciales usuarios interesados en realizar análisis geospaciales sobre las tendencias y causas del cambio en la extensión de las coberturas naturales. Por lo tanto, los objetivos principales de este estudio fueron: a) crear dos capas digitales de las coberturas naturales extraídas de las dos primeras ediciones de hojas cartográficas de Costa Rica y b) disponer con acceso abierto toda la información digital e informes a través de la plataforma del Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT: <https://www.snitcr.go.cr/>) del IGN. Esta información será muy útil en el campo de la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales, dado que permitirá una mejor valoración de las causas e impactos, tanto de la pérdida como de la restauración de las coberturas naturales, a partir de una línea base histórica y comparable con la información generada por estudios empleando sensores remotos.

Los hallazgos del estudio más relevantes son:

- Las 99 hojas cartográficas escala 1:25 000 cubren principalmente algunos cantones de las provincias de Guanacaste, Puntarenas y algunas áreas de las provincias de Alajuela, Heredia, San José y Cartago, con una base de fotografías aéreas escala 1:20 000 principalmente del año 1945.
- Las 133 hojas cartográficas escala 1:50 000 cubren todo el territorio nacional, excepto la Isla del Coco, y su base de fotografías aéreas abarca un rango del año 1945 al año 1967, con escalas de 1:20 000 y 1:60 000.
- Los errores de georreferenciación de las hojas cartográficas fueron de ≤ 5 metros en las hojas cartográficas 1:50 000 y de ≤ 10 metros en las hojas cartográficas 1:25 000. Ambos errores se encuentran por debajo del error máximo aceptable para las hojas cartográficas de ese periodo de años según las normas internacionales.
- Las unidades mínimas de mapeo resultantes de la digitalización para todas las coberturas naturales digitalizadas fueron de ≥ 1 ha en las hojas cartográficas 1:25 000 y 1:50 000. Esto permite que la información de las coberturas naturales sea comparable con los estudios realizados a nivel nacional empleando distintos sensores remotos y unidades de mapeo de 1 a 3 has.
- Las hojas cartográficas 1:25 000 no presentaron cobertura de nubes, mientras que, las hojas cartográficas 1:50 000 sí presentaron nubes en un 0.45% del área total digitalizada. Esta insignificante proporción de nubes es el resultado de los procesos de actualización realizados por el IGN empleando comprobación de campo y al menos 2 vuelos con fotografías aéreas en un 95 % de las hojas cartográficas.
- En la clasificación de coberturas naturales escala 1:50 000, se resalta que un 92.5 % de las hojas cartográficas tuvo una actualización empleando fotografías aéreas del año 1961 al año 1967, mientras que, para la clasificación de coberturas 1:25 000 solo se realizaron actualizaciones para 2 de las 99 hojas cartográficas.
- Las coberturas naturales en las hojas 1:25 000 correspondió a un 37.3% del área total, siendo la cobertura de "Bosque" de 32.9% del área total. En las hojas 1:50 000 las coberturas naturales representaron un 62.5% del área total y la cobertura de "Bosque" fue de un 57.6% del área total.

- En las hojas cartográficas 1:25 000 se encontraron 62 cuerpos de agua que cubrían un área total de 638.8 ha, mientras que en las hojas 1:50 000 se contabilizaron 609 cuerpos de agua para un área total de 11,746 ha.
- Este estudio identificó algunas inconsistencias en las clasificaciones de manglares, sabanas, humedales y yolillales (bosques inundados *Raphia taedigera*) en las hojas cartográficas 1:50 000. También se identificaron varias omisiones en la clasificación de algunas hojas cartográficas y una errada clasificación de los manglares en las hojas cartográficas 1:25 000. Los casos más notorios se detallan dentro del informe para efectos de ilustración.

Se concluye que la digitalización de las coberturas naturales de la I Edición de hojas cartográficas 1:50 000 y 1: 25 000 de este estudio, se constituyen en las únicas líneas base cartográficas históricas de acceso abierto para todo el territorio continental del país y para varios cantones de las provincias de Guanacaste, Puntarenas y algunas áreas del Valle Central. Es importante hacer hincapié que en la generación de las cartografías digitales de este estudio no se reinterpretaron las clasificaciones de las coberturas de algunos polígonos a pesar de las inconsistencias y omisiones detectadas. Por tanto, la cartografía digital generada en este estudio representa la información tal como fue interpretada, clasificada y publicada en formato impreso por el IGN en las primeras ediciones de las hojas cartográficas escalas 1:25 000 y 1:50 000.

2. Introducción.

El impacto de las actividades antrópicas en los ecosistemas naturales terrestres es uno de los factores que más aceleran la pérdida de biodiversidad, del suelo y del equilibrio de los ciclos bioquímicos e hídricos del planeta. Estos impactos son de escala global y se asocian con el calentamiento de la atmósfera, que compromete a su vez el equilibrio de todos los ecosistemas terrestres y marinos. El calentamiento también afecta directamente la agricultura y la infraestructura, así como, la estabilidad social y económica de los países al alterar el clima. Como consecuencia, se han propuesto y desarrollado políticas, estrategias y acciones de adaptación, conservación y restauración de ecosistemas naturales, tanto a nivel local como global, con el propósito de revertir los procesos de degradación y contener los factores que están acelerando la crisis ecológica y del calentamiento global.

Para implementar estas políticas y estrategias es necesario comprender los cambios que han generado los procesos de degradación y restauración de ecosistemas naturales terrestres. En Costa Rica, desde los inicios de los años 70's, se realizaron los primeros esfuerzos para cuantificar la deforestación y los cambios en uso de la tierra. Inicialmente la Oficina de Planificación Sector Agropecuaria (OPSA), convertida luego en Secretaría Ejecutiva de Planificación del Sector Agropecuario (SEPSA), generó los primeros estudios de cobertura forestal de Costa Rica para los años 1940, 1950, 1961, 1977, y 1983 (Pérez y Protti, 1978). Estos estudios levantaron mapas generalizados a escala 1:1.000 000 y 1:200 000, empleando información de hojas cartográficas y el uso complementario de imágenes LANDSAT (MSS) de los años 1977 y 1983 (Sader y Joyce, 1988). Dada las escalas empleadas y el uso de las imágenes LANDSAT (MSS), las unidades de mapeo de estos estudios fueron ≥ 60 hectáreas (ha). No fue sino hasta el año 1996, cuando el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), contrató el primer estudio a nivel nacional empleando imágenes LANDSAT TM 5 para analizar el cambio de la cobertura forestal entre los años 1986/87 y 1996/97. Este estudio se realizó con procesamiento digital y con unidades mínimas de mapeo de 3 ha (Quesada et al, 1998).

Desde entonces se ha intensificado el uso de imágenes satelitales y con el pasar del tiempo se han generado una cantidad considerable de estudios sobre cambio del uso de la tierra y/o cobertura "forestal". Entre los estudios a nivel nacional se resaltan dos generados por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) sobre coberturas de ecosistemas terrestres, ambos con unidades de mapeo ≥ 1 ha (SINAC, 2015 y 2023). El primer estudio fue para el año 2015 empleando imágenes Quickbird y el último estudio, del año 2021, empleando la Plataforma Google Earth Engine (GEE) y las imágenes Sentinel 1 y Sentinel 2 de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Todos estos estudios han permitido a ONG's, nacionales e internacionales, instituciones de educación superior, ministerios y otras instituciones públicas, desarrollar importantes análisis sobre la dinámica del cambio de las coberturas naturales y uso de la tierra para la gestión de recursos naturales, ordenamiento territorial y evaluación de políticas públicas, entre otras aplicaciones. Como ejemplos se pueden resaltar: redefinición o creación de áreas de conservación/protección, diseño de corredores biológicos, estudios de impacto ambiental, planes reguladores municipales, seguimiento de iniciativas como los Programas País Carbono Neutralidad (PPNC) y Pago de Servicios Ambientales (PSA).

Es claro que antes del año 1986 no existe disponibilidad de información digital y accesible al público, sobre coberturas naturales a nivel nacional con unidades de mapeo de 1 o 3 has, que se constituya como una línea base histórica para analizar las tendencias de la dinámica y los factores asociados al cambio, pérdida o restauración, de las coberturas naturales. Una solución a este vacío de información consiste en la digitalización de las coberturas naturales incluidas en las primeras ediciones de hojas cartográficas de Costa Rica, generadas y publicadas en formato impreso por el IGN a escalas 1:25 000 (1945) y 1:50 000 (1945-1967). Estas hojas cartográficas se levantaron empleando protocolos estandarizados a nivel internacional y contienen, no solamente información

sobre cobertura de bosques, pero además, información de otras coberturas naturales tales como: humedales, sabanas, yolillales, manglares y cuerpos de agua. Consiguientemente, los objetivos de este estudio son: a) digitalizar con el empleo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) las coberturas naturales clasificadas como bosque, manglares, humedales, sabanas naturales, yolillales y cuerpos de agua de las hojas cartográficas escaneadas de primera edición a escala 1:25 000 (año 1945) y 1:50 000 (año 1945-1967) del IGN y b) disponer las capas de información generada en formato digital y de acceso libre al público en la plataforma del SNIT.

3. Historia la primera edición de las hojas cartográficas de Costa Rica año 1945 y 1945-67.

Según Sandner (1963) la cartografía de Centro América tuvo la fase de mayor desarrollo al final de la II Guerra Mundial, con el impulso dado por el Servicio Geodésico Interamericano (SGI-USA) del Gobierno de los Estados Unidos. A partir de 1945, el SGI-USA establece un convenio de cooperación con el IGN, creado en el año 1944 y heredero del histórico Instituto Físico-Geográfico, fundado por Henry Pittier en el año 1888 y que dejó de funcionar en el año 1912. Fue así como se fortaleció el IGN al recibir equipo y capacitación en la Zona del Canal de Panamá (Base Militar Fort Clayton), donde se entrenó a todo personal centroamericano en geodesia, cartografía y fotointerpretación. A partir de 1946, el IGN se dedicó a realizar levantamientos geodésicos y tomar fotografías aéreas pancromáticas. Entre 1953 y 1957 se editaron 99 hojas cartográficas a escala 1:25 000, 90 de estas hojas cartográficas cubren parcialmente varios cantones en las provincias de Guanacaste y Puntarenas con fotografías aéreas del año 1945 y 9 hojas cartográficas adicionales cubren una pequeña porción del Valle Intermontano Central (provincias de Alajuela, Heredia, San José y Cartago) con fotografías aéreas de los años 1945, 1956 y 1958 (Figura 1 y Anexo 3).

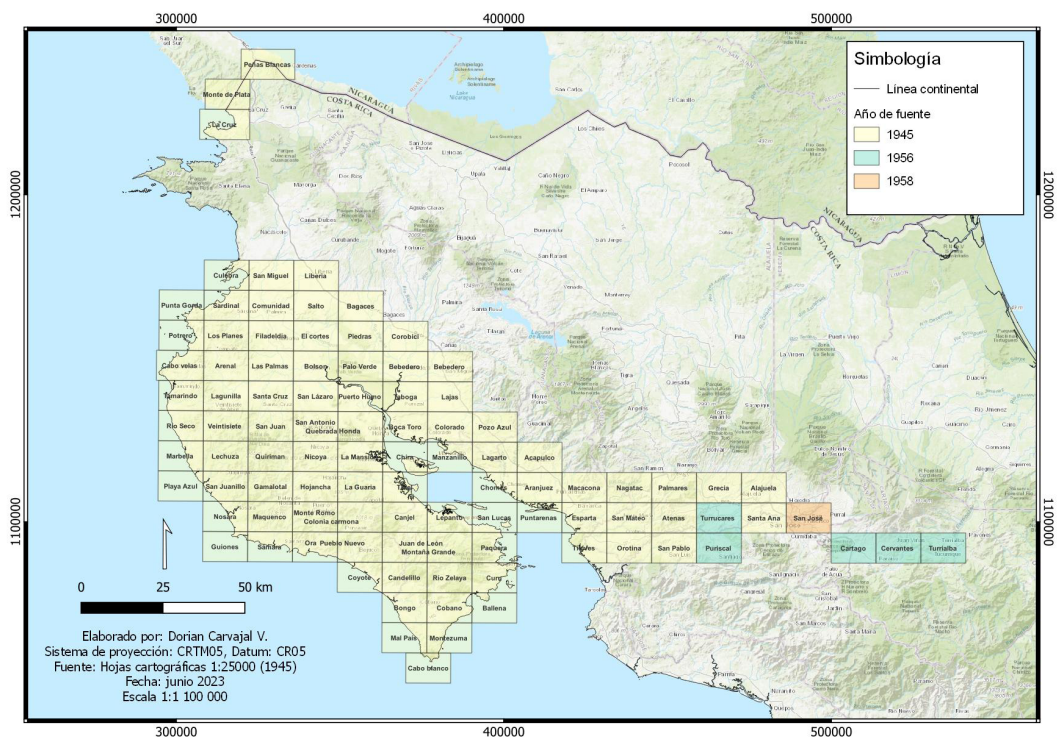


Figura 1. Mosaico de hojas cartográficas 1:25 000 (fotografías 1945) publicadas entre 1953 y 1957 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

Las 99 hojas cartográficas 1:25 000 se imprimieron entre los años 1953 y 1962, las coberturas naturales (en adelante referidas como coberturas) se diferenciaron con el empleo de colores, tramas y combinación de ambas, para identificar ocho clases de coberturas: bosque, manglar, pantano, arena, salinas, rocas, lagunas y lagunas temporales. Estas hojas cartográficas incluyen curvas de nivel cada 10 metros y curvas auxiliares cada 5 metros. De acuerdo con la escala gráfica, la rejilla empleada es de 1 km x 1 km, lo que equivale a un área de 100 hectáreas cada cuadrícula. La simbología también identifica varios elementos naturales y de infraestructura tales como: ríos, caminos, iglesias, plazas, escuelas, puentes, entre otros (Anexo 1). Estas hojas cartográficas se levantaron empleando 1,694 fotografías aéreas del año 1945 tomadas por el U.S. Army con una escala 1:20 000 (Cuadro 1).

Las hojas cartográficas 1:50 000 se elaboraron simultáneamente para todos los países de Centroamérica, y en el caso de Costa Rica se cubrió todo el país con un total de 133 hojas cartográficas (Figura 2 y Anexo 4). Las 8.995 fotografías aéreas empleadas tienen un rango desde el año 1945 al año 1967, con escalas de 1:20 000 y 1:60 000 (Cuadro 1). La primera hoja se publicó en 1955, luego entre 1960 y 1963 se publicaron 32 hojas cartográficas y, finalmente, entre 1964 y 1971 se terminan de publicar las 100 hojas cartográficas restantes.

Cuadro 1. Fotografías aéreas empleadas como base para la Primera Edición de Hojas Cartográficas 1:25 000 y 1:50 000 de Costa Rica (IGN, 2012)

Años	Escala	Ejecutor	Cobertura	Nº Fotos
1945-48	1:20 000	U.S Army	Regional	1263
1952-53	1:20 000	U.S Army	Regional	431
1960-61	1:60 000	IAGS *	Nacional	1800
1964-65	1:60 000	AMS **	Regional	3222
1965-68	1:20 000	U.S Navy	Regional	2279

* Instituto Geodésico Interamericano (IAGS)

** Army Map Service (ANS) del U.S Army

Las hojas cartográficas 1:50 000 se publicaron a colores, con tramas y combinación de ambas, con curvas de nivel cada 20 metros y curvas auxiliares cada 10 metros. Al igual que las hojas cartográficas 1:25 000, la rejilla es de 1 km x 1 km. El detalle de clases de coberturas y otros elementos de infraestructura es más amplio con respecto a las hojas cartográficas 1:25 000. Las hojas cartográficas 1:50 000 incluyen también un cajetín informativo que indica la edición, año (s) de las fotografías empleadas y año de actualización (Anexo. 2). Lo anterior significa que las hojas cartográficas actualizaron su fotointerpretación inicial con el empleo de comprobación de campo y de fotografías aéreas tomadas después del año base. En la revisión de la documentación publicada por el IGN sobre los levantamientos cartográficos, no se encontró una descripción del procedimiento de "actualización". No obstante, después de una consulta a funcionarios del IGN se puede concluir que las actualizaciones tuvieron varios propósitos: a) remover la cobertura de nubes del primer vuelo, b) rellenar áreas no cubiertas por fotografías aéreas durante el primer vuelo y c) actualizar la infraestructura y la clasificación de coberturas de cada hoja.

La metodología original para el levantamiento de las hojas cartográficas 1:25 000 y 1:50 000 fue descrita por Barrantes (1954). Esta descripción incluye temas como: toma de fotografías aéreas, operaciones de campo, geodesia, proyecciones cartográficas en coordenadas Lambert, aerotopografía, determinación de escalas, edición y publicación de mapas. A pesar de nuestras indagaciones, no se encontró información escrita sobre los protocolos de fotointerpretación para delimitar las diferentes clases de coberturas. Sin embargo, hay que resaltar que el personal del IGN fue entrenado previamente en Fort Clayton, Panamá, siguiendo los

procedimientos definidos por el Servicio Geodésico Interamericano, los cuales cumplieron los mismos estándares de fotointerpretación empleados después de la II Guerra Mundial en varios continentes, especialmente Europa y América.

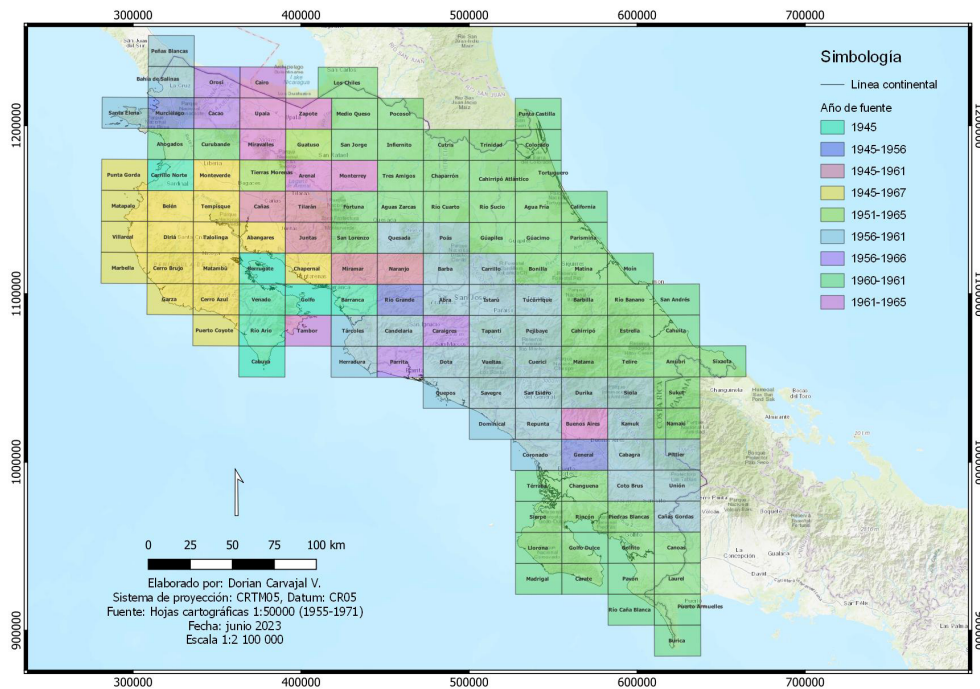


Figura 2. Mosaico de hojas cartográficas 1:50 000 publicadas entre 1955 y 1971 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

4. Materiales y métodos.

4.1 Adquisición y preparación de hojas cartográficas.

En mayo 2018 se solicitó al Instituto Geográfico Nacional (IGN) la donación de las 133 hojas cartográficas escala 1:50 000 de la Primera Edición con una base de fotografías aéreas entre los años 1945 a 1967 y de la única edición de las 99 hojas cartográficas escala 1:25 000 basadas en fotografías aéreas del año 1945 (Figuras 1 y 2). Dicha solicitud fue aprobada por el IGN con el principal compromiso que las dos capas digitales de coberturas naturales generadas, incluyendo los respectivos metadatos e informes fuera compartida través del SNIT en formato de acceso libre y abierto.

Ambos mosaicos de hojas cartográficas fueron entregados en formato de imagen escaneada a partir de las hojas cartográficas originales impresas y resguardadas por el IGN. Las imágenes fueron escaneadas por un

proyecto JICA-IGN durante los años 90's y se entregaron en formato TIFF con una resolución de 72 PPI para las hojas cartográficas 1:25 000 y de 90 PPI para las hojas cartográficas 1:50 000 (IGN, 2012). Todas las imágenes se entregaron sin georreferenciación al sistema de coordenadas de Costa Rica.

4.2 Georreferenciación y Digitalización de Hojas Cartográficas.

La secuencia de trabajo para el desarrollo del archivo o capa de coberturas naturales empleó un Sistema de Información Geográfico (SIG) siguiendo las etapas descritas en la Figura 3. Cada hoja cartográfica escaneada escala 1:25 000 o 1:50 000 por el IGN fue georreferenciada en el sistema coordenadas métricas de Costa Rica, denominada como "Costa Rica Trasversal Mercator al 2005 (CRTM05)" empleando al menos 4 puntos de control. La georreferenciación se realizó con la herramienta Georreferenciador de QGIS 3.18.

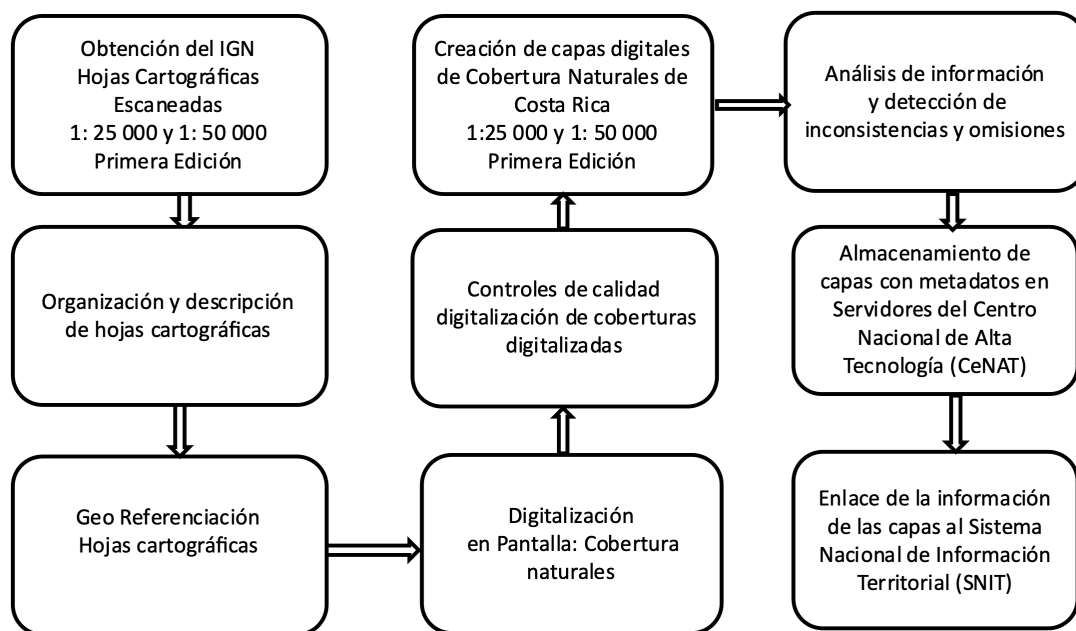


Figura 3. Etapas de digitalización de información de coberturas naturales de las Hojas Cartográficas 1: 25 000 (1945) y 1:50 000 (1945-1967) del Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

Hay que señalar que las hojas cartográficas escaneadas a baja resolución (72 y 92 ppi) pueden presentar un riesgo de perder información. La literatura recomienda emplear niveles de escaneo entre 150 ppi hasta 600 ppi para el rescate digital de mapas históricos. A manera de ejemplos están los estudios de Dina et al (2017), Statuto et al (2017), Skaloš et al 2011 y Leyk et al 2009, los cuales emplean mapas históricos desde 1795 hasta mapas de la I y II Guerra Mundial. La mayoría de los estudios citados se han realizado en pequeñas áreas empleando digitalización manual, aunque también existen estudios para grandes extensiones empleado digitalización automatizada o manual de hojas cartográficas escaneadas de los años 50's (Chen et al 2019, Nelson et al 2003). Según una revisión de Tiange et al (2019), el mayor problema de usar resoluciones de escaneo altas es que se requiere de mayor espacio de almacenamiento y costos de procesamiento más altos. Además, Tiange et al (2019) llega a dos conclusiones importantes: a) una alta resolución (300 PPI) es requerida solo en casos de digitalización automatizada o si hay interés es digitalizar líneas (curvas de nivel, caminos, ríos, líneas eléctricas etc), dado que un escaneo de baja resolución hay mayores riesgos de perder este tipo de información y b) por otro

lado, si se trata de digitalizar polígonos bien definidos con tramas y/o colores, los riesgos de perder información son menores si se emplea bajas resoluciones. Estas mismas conclusiones fueron señaladas previamente por Carstensen y Campbell (1991).

Por lo tanto, dada la incertidumbre creada por el bajo nivel de resolución de escaneo de las hojas cartográficas, se prefirió hacer una digitalización manual empleando un SIG. Pero la razón más importante de hacer una digitalización manual fue la de poder constatar, al momento de digitalizar, una mejor unión o empate de los polígonos compartidos por dos o más imágenes de hojas cartográficas. La digitalización manual de las coberturas se realizó en pantallas de 24 pulgadas con una resolución de 1920 x 1080 píxeles, fijando la escala de la imagen proyectada en la pantalla en 1: 2500. La Figura 4, ilustra un ejemplo de la digitalización en pantalla con fijación de la escala que permitió digitalizar 4 polígonos de bosques (color verde uniforme), algunos de ellos con áreas menores de 1 hectárea (ha). La Figura 4 ilustra además que un nivel de escaneo de 72 ppi permite una clasificación y digitalización limpia tanto de polígonos (coberturas) como de líneas (caminos y curvas del nivel).

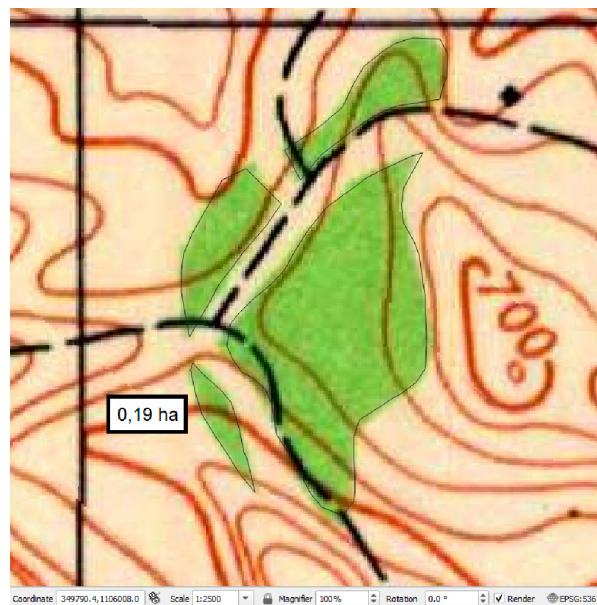


Figura 4. Imagen parcial de una hoja cartográfica escaneada 1:25 000 proyectada y digitalizada en una pantalla 24 pulgadas de 1920 x 1080 píxeles con una escala fija a 1:2 500

Los controles de calidad en el proceso de digitalización en pantalla consistieron en verificar los siguientes puntos:

- a) no hay ausencia de coberturas naturales y ni hay presencia de elementos inexistentes
- b) todas las coberturas digitalizadas están codificadas correctamente
- c) no hay desplazamiento de los polígonos digitalizados con respecto las coberturas originales
- d) no hay polígonos abiertos y/o con exceso de vértices.

Para la verificación de estos puntos de control de calidad, tanto el digitalizador como el supervisor realizaron un contraste superponiendo la imagen de las coberturas digitalizadas sobre la imagen de cada hoja cartográfica

escaneada y georreferenciada. Para esto se procedió a realizar una revisión de los 4 cuadrantes de superior izquierdo a inferior derecho siguiendo la letra "Z".

Una vez digitalizadas y verificadas las coberturas de cada hoja cartográfica escaneada se procedió a la unión, al curado final y homogeneización todas las hojas cartográficas digitales, para luego conformar una sola capa de coberturas originadas de las hojas cartográficas escaneadas escalas 1:25 000 y 1:50 000.

4.3. Análisis de coberturas naturales y consistencia de clasificación.

Aunque no es un objetivo principal de este informe, se realizó un análisis de carácter general sobre la extensión de las coberturas naturales para cada capa, incluyendo un análisis de la distribución de los polígonos según su área (ha). También se realizó un análisis de consistencia de la clasificación de coberturas de las capas 1: 25 000 y 1: 50 000 con el fin de advertir a los usuarios de posibles inconsistencias y omisiones en la clasificación y demarcación de las coberturas naturales. Para este propósito se empleó como apoyo algunas las ortofotos escala 1: 5000 de los años 2014-2017 (IGN. 2017) y los dos últimos mapas de cobertura del SINAC (SINAC 2015 y 2023).

4.4. Publicación de capas de coberturas en el SNIT.

Para publicar las nuevas capas de coberturas naturales en formato digital y de acceso libre al público, en la plataforma del SNIT, se siguieron los protocolos requeridos por el IGN para la creación de los metadatos, para el almacenamiento y enlace a un nodo del SNIT. En este caso, y por conveniencia institucional, las capas de coberturas se almacenan en los servidores del Centro Nacional de Alta Tecnología (CeNAT) y se enlazan con el SNIT a través del nodo ya creado por Programa de Investigaciones Aerotransportadas y Sensores Remotos del CeNAT-CONARE.

5. Resultados.

5.1 Descripción de los mosaicos de hojas cartográficas 1: 25 000 y 1: 50 000.

El Anexo 1 y 2 son una muestra de las hojas cartográficas escala 1: 25 000 y 1: 50 000. Estos anexos incluyen un cajetín original que describe información sobre simbología y fechas importantes para la elaboración de cada hoja cartográfica.

Para el mosaico de hojas cartográficas escala 1:50 000 se detectaron 6 hojas cartográficas faltantes: Monteverde, Bonilla, Dúrika, Buenos Aires, Kamuk y Cañas Gordas. Estas hojas cartográficas fueron reemplazadas por las hojas cartográficas elaboradas por el Servicio Militar de Estados Unidos y que fueron levantadas con los mismos protocolos seguidos por el IGN. Sin embargo, estas hojas se tuvieron que georreferenciar con el sistema coordenadas UTM-17N (EPSG:26717).

El mosaico de 99 hojas cartográficas escaneada escala 1:25 000 (Figura 1, Anexo 3), tiene como base, tres grupos de fotografías aéreas: 93 hojas cartográficas con fotografías 1945 (94% del total), 5 hojas cartográficas con fotografías 1956 y 1 hoja cartográfica con fotografías 1958 (6% del total).

El mosaico de 133 hojas cartográficas 1:50 000 empleó un rango de años más amplio de fotografías aéreas, desde el año 1945 hasta el año 1967 (Figura 2, Anexo 4). El Cuadro 2 organiza en 9 categorías el rango de años de

las fotografías empleadas para las hojas cartográficas 1:50 000, según la información contenida en los cajetines de cada hoja cartográfica (Anexo 2). De este Cuadro se llega a las siguientes conclusiones:

- a) Las primeras 2 categorías de hojas cartográficas (1-2) suman 10 hojas cartográficas y representan solo un 7,6 % del total de hojas cartográficas 1:50 000. Estas hojas cartográficas emplean fotografías de los años 1945, y la categoría 2 tuvo una actualización con fotografías del año 1956. La mayoría de estas hojas cartográficas corresponden a cantones de las provincias de Guanacaste y Puntarenas.
- b) Las categorías de 3 a 9 suman en total 123 hojas cartográficas equivalente al 92,4 % del total de hojas cartográficas. Según el Cuadro 1 y Anexo 4, este mosaico de hojas cartográficas 1:50 000 brindan información actualizada para los años entre 1961 y 1967 (rango de ~ 5 años). También se resalta la categoría 8, con fotografías de los años 1960 y 1961 para 56 hojas cartográficas que cubren los cantones de Osa, Corredores, las llanuras de la vertiente Caribe y de la cuenca del Río San Juan.
- c) Dadas las características de la base fotografías aéreas del mosaico 1:50 000 y las actualizaciones realizadas, se puede afirmar que estas hojas cartográficas reflejan el estado de las coberturas naturales del país para el periodo 5 años entre años 1961-1967.

Cuadro 2. Distribución de las hojas cartográficas 1:50 000 según rangos de años de las fotografías aéreas usadas para la fotointerpretación y actualización.

Categoría	Rango Años	Cantidad de Hojas	% Hojas
1	1945	7	5,3
2	1945-1956	3	2,3
3	1945-1967	15	11,3
4	1945-1961	5	3,8
5	1951-1965	2	1,5
6	1956-1961	29	21,8
7	1956-1966	4	3,0
8	1960-1961	55	41,4
9	1961-1965	7	5,3
10	ND	6	4,5
Total		133	100,0

El Cuadro 3 ilustra la distribución de los años de impresión de las hojas cartográficas 1:25 000 y 1:50 000. Según se puede apreciar, las hojas cartográficas 1:25 000 se imprimieron entre 1953 y 1962 (periodo de 9 años), siendo que un 82 % de las hojas cartográficas se imprimieron en los primeros 5 años, de 1953 a 1957. Para las hojas cartográficas 1:50 000 se tardó 13 años para completar su impresión, iniciando en el año 1955 y finalizando en el año 1971. El 82 % de las hojas cartográficas 1:50 000 se publicaron entre los años 1964 y 1971.

Cuadro 3. Año de impresión y número de hojas cartográficas 1:25 000 (año 1945) y 1:50 000 (años 1945-1967), Costa Rica.

Hojas 1:25000			Hojas 1:50000		
Año impresión	Número Hojas	Hojas %	Año impresión	Número Hojas	Hojas %
1953	5	3,76	1955	1	0,75
1954	10	7,52	1960	6	4,51
1955	8	6,02	1961	8	6,02
1956	22	16,54	1962	6	4,51
1957	37	27,82	1963	8	6,02
1958	9	6,77	1964	10	7,52
1959	2	1,50	1965	17	12,78
1960	3	2,26	1966	25	18,80
1961	1	0,75	1967	14	10,53
1962	2	1,50	1968	15	11,28
10 años	99	100	1969	5	3,76
			1970	14	10,53
			1971	4	3,01
			13 años	133	100

5. 2 Georreferenciación y digitalización de hojas cartográficas.

Los errores residuales de georreferenciación de las hojas cartográficas escaneadas, en las coordenadas "X" y "Y", se mantuvieron inferiores a 10 m en las hojas cartográficas 1:25 000 y menores a 5 m en todas las hojas cartográficas escaneadas 1:50 000. Las posibles fuentes de error asociadas a este error residual son; deformación de las hojas cartográficas impresas al momento de escanearse y calidad de la impresión original de las hojas cartográficas. Estas razones pueden explicar que el error de georreferenciación para algunas hojas cartográficas 1:25 000 fueran menores a 10 m, sobre todo considerando que la impresión en los primeros años probablemente empleó un tipo de papel y sistema de impresión de inferior calidad que las hojas cartográficas 1:50 000. No obstante, ambos errores de georreferenciación están por debajo del valor del error aceptable según las recomendaciones de la U.S. National Map Accuracy Standards (U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. 1999), que en este caso señalan que el error máximo debe ser de 12.7 m y de 25.4 m para las escalas de 1:25 000 y 1:50 000 correspondientemente para las hojas cartográficas impresas de ese periodo de años.

La digitalización final de todas las coberturas resultó en unidades de mapeo ≥ 0.02 ha en la capa de coberturas escala 1:25 000 y de ≥ 0.04 ha en la capa de coberturas escala 1:50 000. Hay que recordar que este estudio no limitó el tamaño las unidades de mapeo, dado que el objetivo es representar en formato digital las coberturas tal como fueron clasificadas en hojas cartográficas escaneadas. Los errores de digitalización como omisión de polígonos, imprecisión en la digitalización y asignación equivocada de clase de cobertura, fueron muy pocos y todos fueron corregidos durante el proceso de verificación realizado por un supervisor. Los errores en la delineación de polígonos que no se pudieron resolver en algunas hojas cartográficas, se relacionan con las

discrepancias al empatar hojas cartográficas bases de fotografías aéreas con diferentes años, lo que puede generar evidentes cortes rectos en los polígonos compartidos y uniones desacopladas. Finalmente se debe señalar que el escaneo con baja resolución de las hojas cartográficas no representó limitación alguna en el proceso de digitalización y por tanto no hubo pérdida de información.

5.3 Análisis de las Coberturas y consistencia de clasificación para cada capa.

Las Figuras 5 y 6 ilustran las capas digitales de coberturas naturales para los mosaicos de hojas cartográficas escaneadas 1:25 000 y 1:50 000.

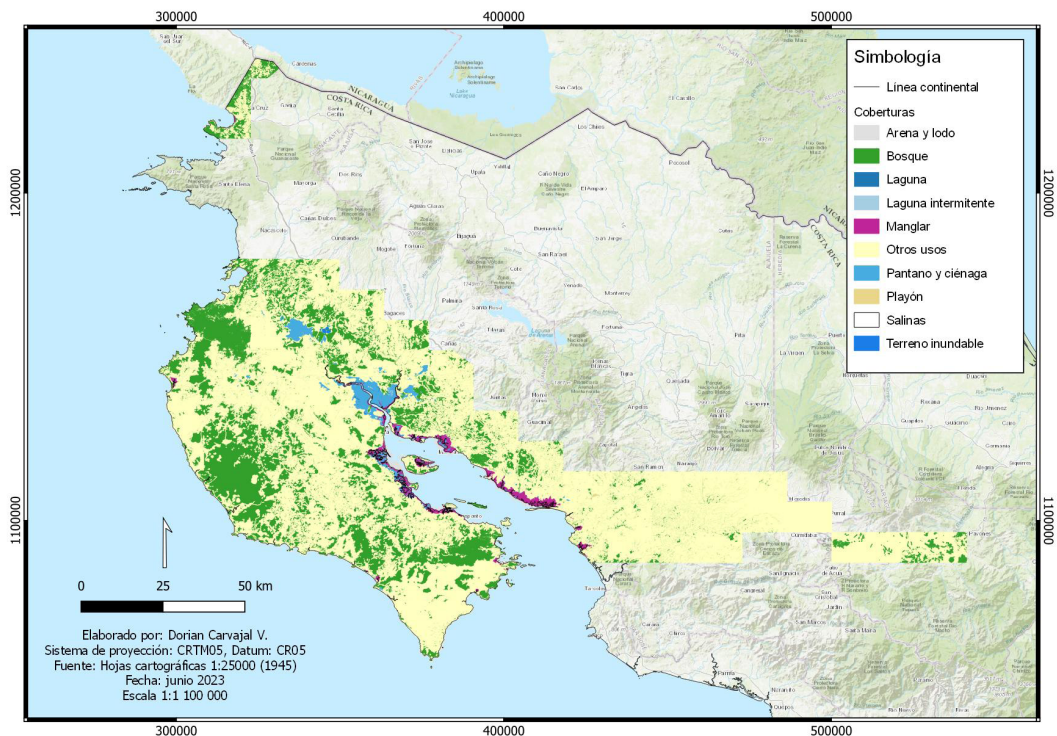


Figura 5. Capa de Coberturas Naturales de hojas cartográficas escaneadas 1:25 000 publicadas entre los años 1953 y 1962 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

Las coberturas digitalizadas fueron de 10 clases para la capa de hojas cartográficas 1:25 000 y de 14 clases para la capa de hojas cartográficas 1:50 000, como se aprecia en la simbología de las Figuras 5 y 6. En este estudio no se modificó los nombres de las coberturas, ni se dejó de digitalizar una cobertura por pequeña que fuera, ni se reinterpretó las clasificaciones de las coberturas de algunos polígonos, esto último a pesar de encontrar inconsistencias en algunas hojas cartográficas. Por lo tanto, debe enfatizarse que las capas digitales de coberturas generadas en este estudio representan la información tal como fue interpretada, clasificada y publicada originalmente en formato impreso por el IGN.

Es importante indicar que la clase de cobertura “otros usos” corresponde a los usos de la tierra en actividades agropecuarias o urbanas que no fueron clasificadas en las hojas cartográficas. A manera de contexto histórico, los usos agropecuarios dominantes y de mayor extensión en esos años fueron: pasto, café, caña de azúcar,

banano, palma aceitera y campos de horticultura. Ninguna de estas clases de coberturas agropecuarias o urbanas se incluyeron en las hojas cartográficas 1:25 000 y 1:50 000 por parte del IGN.

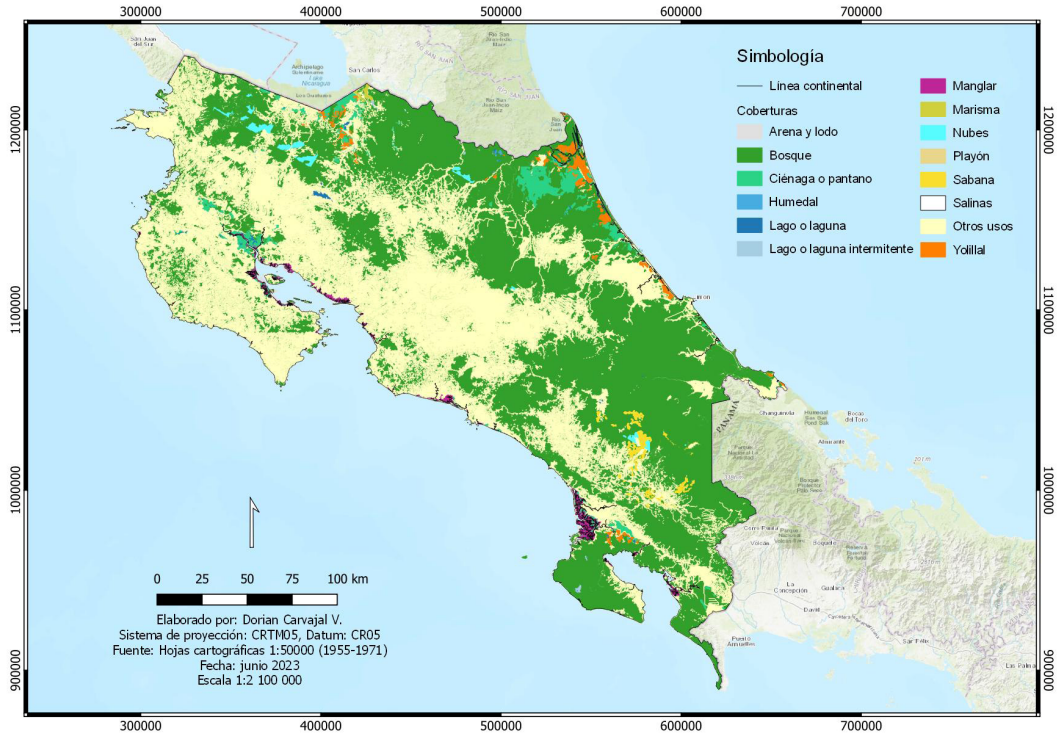


Figura 6. Capa de coberturas naturales de las hojas cartográficas escaneadas 1:50 000 publicadas entre los años 1955 y 1971 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.

El Cuadro 4 resume los resultados de las áreas en kilómetros cuadrados (km²) para cada una de las clases de cobertura de cada capa 1:25 000 y 1:50 000. El Cuadro 5 resume un análisis de frecuencias de la distribución de los polígonos digitalizados por rango de áreas en hectáreas y para todas las coberturas.

Cuadro 4. Área en kilómetros cuadrados (km²) y porcentaje (%) por coberturas naturales de las capas de hojas cartográficas escaneadas 1:25 000 y 1:50 000, Costa Rica.

Cobertura 1: 50 000	Área Km ²	% Área
Bosque	29456,97	57,609
Otros usos	19151,18	37,454
Ciénaga o pantano	1045,21	2,044
Yolillal	441,81	0,864
Manglar	353,24	0,691
Nubes	230,72	0,451

Cobertura 1: 25 000	Área Km ²	% Área
Otros usos	6338,62	62,675
Bosque	3330,25	32,929
Pantano y ciénaga	212,07	2,097
Manglar	142,68	1,411
Arena y lodo	69,06	0,683
Playón	8,52	0,084

Cobertura 1: 50 000	Área Km ²	% Área
Sabana	208,13	0,407
Lago o laguna	85,19	0,167
Arena y lodo	82,27	0,161
Lago o laguna intermitente	37,68	0,074
Marisma	28,33	0,055
Humedal	7,90	0,015
Salina	3,73	0,007
Playón	0,52	0,001
Total	51133,07	100

Cobertura 1: 25 000	Área Km ²	% Área
Laguna	4,62	0,046
Salinas	2,89	0,029
Terreno inundable	2,77	0,027
Laguna intermitente	1,77	0,017
Total	10113,25	100

Cuadro 5. Distribución de frecuencias de polígonos para todas las coberturas de las capas de hojas cartográficas escaneadas 1:25 000 y 1:50 000, Costa Rica.

Hojas cartográficas 1: 25 000		
Rango (ha)	Número de polígonos	% de polígonos
0,02-3	7225	60,74
3-5	2931	24,64
5-20	884	7,43
20-50	367	3,09
50-100	365	3,07
100-500	58	0,49
500-1000	50	0,42
1000-5000	4	0,03
5000-10000	11	0,09
+10000	0	0,00
Total	11895	100

Hojas cartográficas 1: 50 000		
Rango (ha)	Número de polígonos	% de polígonos
0,04-3	3760	19,86
3-5	2707	14,30
5-20	7491	39,57
20-50	2501	13,21
50-100	1022	5,40
100-500	1086	5,74
500-1000	169	0,89
1000-5000	143	0,76
5000-10000	23	0,12
10000-888799	30	0,16
Total	18932	100,00

La cobertura de cuerpos de agua (lagunas y lagos), se clasificó según fueran de carácter permanentes o intermitentes, calculando su cantidad y extensión (Cuadro 6). La Figura 11 ilustra el nivel de detalle de la fotointerpretación de los cuerpos de agua del Páramo Chirripó, hojas cartográficas 1:50 000, lo que permitió digitalizar lagunas muy pequeñas.

Cuadro 6. Cantidad de cuerpos de agua, y rango de área en hectáreas extraídas de hojas cartográficas

1:25 000 (año 1945) y 1:50 000 (años 1945-1967), Costa Rica.

Hojas cartográficas 1:25 000			
Categoría	Cantidad	Rango Área Hectáreas	Área en hectáreas
Laguna	27	0.29-118	462,0
Laguna Intermittente	35	0.14-146	176,8
Total	62	0.14-146	638,8

Hojas cartográficas 1:50 000			
Categoría	Cantidad	Rango Área Hectáreas	Área en hectáreas
Lago-Laguna	451	0.05-2540	7978,6
Lago-Laguna Intermittente	158	0.05-3767	3767,9
Total	609	0.05-3767	11746,5

5.4 Inconsistencias en clasificación de coberturas en hojas cartográficas 1:25 000 y 1:50 000.

Tanto en las hojas 1:25 000 como en las 1:50 000 se encontraron inconsistencias en la clasificación original de coberturas de las hojas cartográficas, debido a errores de interpretación u omisiones. A continuación, los casos más notorios:

5.4.1 Errores de clasificación de manglar en las hojas cartográficas 1:25 000.

En el recuadro de la hoja cartográfica en la Figura 7, se observa la clasificación de dos zonas que se clasifican como "manglar" (color magenta) y "pantano/ciénaga" (color celeste). No obstante, ambas zonas corresponden al ecosistema "manglar" más específicamente a mangle alto y mangle bajo, que presenta notables cambios de estructura y composición de especies debido a gradientes de salinidad. Este error se hace evidente al comparar una sección de la hoja cartográfica Mansión 1:25 000 y la imagen ortofoto del año 2017 de esa misma sección (Figura 7). Esta errónea clasificación subestima la extensión real del área del manglar en la capa 1:25 000.

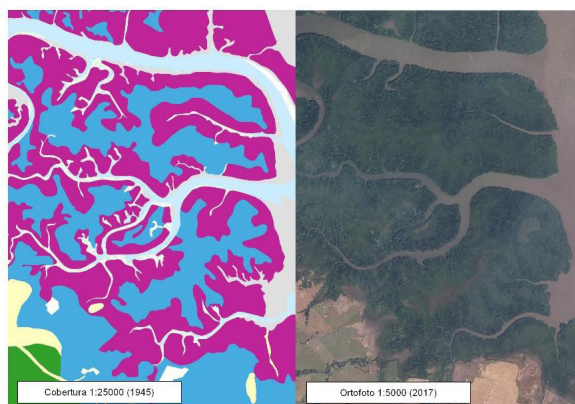


Figura 7. Inconsistencia en la clasificación del manglar en las hojas cartográficas 1:25 000 debido a diferencias de estructura y composición de especies del ecosistema manglar.

5.4.2 Clasificación inconclusa de cartográfica Marbella 1:25 000.

Si se observa la cobertura “bosque” de la hoja cartográfica Marbella 1:25 000 (esquina superior izquierda de la Figura 8), es evidente que no se concluyó la fotointerpretación de coberturas de toda la hoja cartográfica, dado que los empates con las hojas cartográficas vecinas, Lechuza (a la derecha) y Playa Azul (inferior izquierda), muestran la cobertura “bosque” con cortes rectos. Nótese que las tres hojas cartográficas se generaron empleando fotografías aéreas del año 1945 y por tanto no se justifica esta inconsistencia en los empates de las hojas cartográficas.

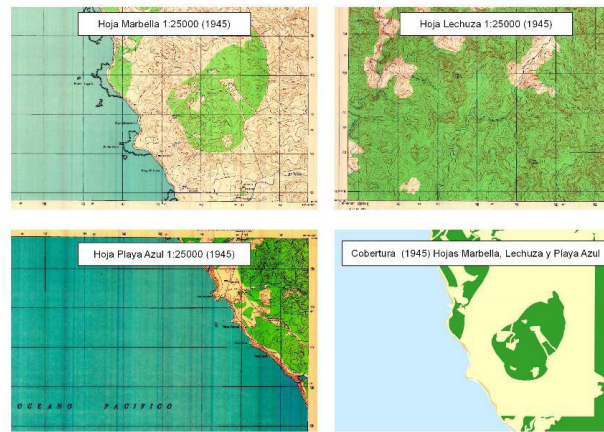


Figura 8. La clasificación de cobertura de la hoja cartográfica Marbella 1:25 000 fue inconclusa.

5.4.3. Error de clasificación de un manglar en hoja cartográfica Quepos 1:50 000.

En la hoja cartográfica Quepos 1:50 000 se muestra un manglar (en color magenta) y dos humedales (color celeste). Una comparación con la ortofoto 1:5000 del año 2017, evidencia que el humedal de la derecha corresponde en realidad a un manglar (Figura 9).



Figura 9. Error de clasificación de un manglar por un humedal en la hoja Quepos 1:50 000

5.4.4. Omisión de clasificación de cobertura de “Yolillo” en Laguna Corcovado.

La Laguna Corcovado en la hoja cartográfica Llorona 1:50 000, se clasifica como Laguna o Lago Intermittente y Permanente, omitiendo clasificar una gran porción de bosques de yolillo evidente en la ortofoto 1:5 000 del 2017 (Figura 10). Un estudio de la dinámica de la cobertura de Laguna Corcovado entre los años 1960 y 2014, confirma que la laguna tenía en su borde una cobertura de yolillo de ~600 ha en el año 1960 (Morera et al., 2017)



Figura 10. Omisión de clasificación de bosque de yolillo en la Laguna Corcovado, hoja cartográfica Llorona 1:50 000.

5.4.5. Clasificación de cobertura “marisma” en lugar de “ciénaga o pantano”.

En las hojas cartográficas 1:50 000 se incluyó la categoría de cobertura “marisma”, un tipo de humedal costero. Esta categoría se localizó en la hoja cartográfica Los Chiles, como se aprecia en la Figura 11. Este es un error de clasificación o nomenclatura dado que ese sitio no está cerca de la costa y por tanto no puede ser una “marisma”, siendo lo correcto una “ciénaga o pantano”. Esta “ciénaga o pantano”, aún se aprecia en la ortofoto 2017. Además, una inspección de todas las hojas cartográficas 1:50 000, indica que la categoría “marisma” solo se clasificó en la hoja cartográfica Los Chiles y en el delta del Río Sierpe, en un pequeño islote dentro del manglar.

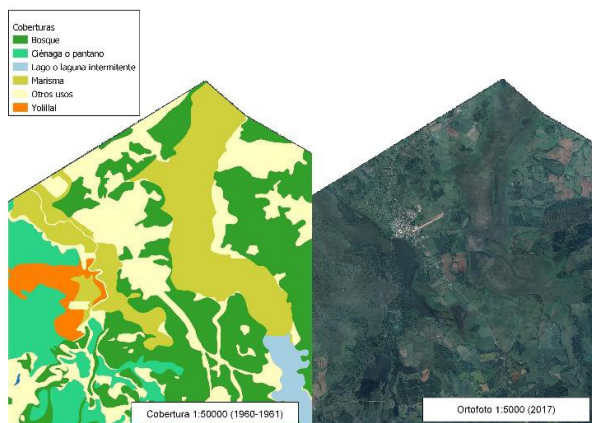


Figura 11. Cobertura “marisma” aplicado en lugar de “ciénaga-pantano”, en la hoja cartográfica Los Chiles 1:50 000.

5.4.6. Clasificación de Cobertura “Sabanas” en lugar de la cobertura “Páramo”.

En las hojas cartográficas 1:50 000, las cumbres de la Cordillera de Talamanca fueron clasificados como “sabanas” o en la categoría “otros usos” cuando lo correcto es “páramos”. A manera de ejemplo, el Páramo Chirripó, (Figura 12) se clasificó erróneamente en la categoría de “otros usos” o “sabanas”. En Costa Rica sobre los 3100 m.s.n.m se encuentran siete cumbres con vegetación tipo subpáramo, páramo y superpáramo (Kappelle y Horn, 2016 y Kappelle 2016). Estos páramos se localizan en las cumbres a lo largo de la Cordillera de Talamanca, en los volcanes Irazú y Turrialba. La categoría “páramo” no se incluyó en ninguna de las hojas cartográficas 1:50 000.

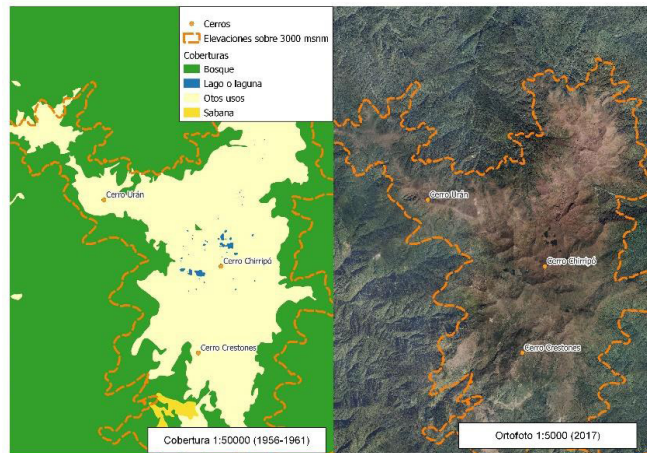


Figura 12. Error de clasificación de los “páramos” por “sabanas” o “otro uso” en las cumbres de la Cordillera de Talamanca.

5.4.7. Clasificación de cobertura “Ciénaga o Pantano” en lugar de “Bosque y Yolillo”.

Una sección de la hoja cartográfica California 1:50 000, en costa Caribe, se clasifica como “ciénaga o pantano” (color verde claro), cuando en realidad estas áreas están ocupadas por bosques y yolillales, según se aprecia en la ortofoto del 2017 (Figura 13).

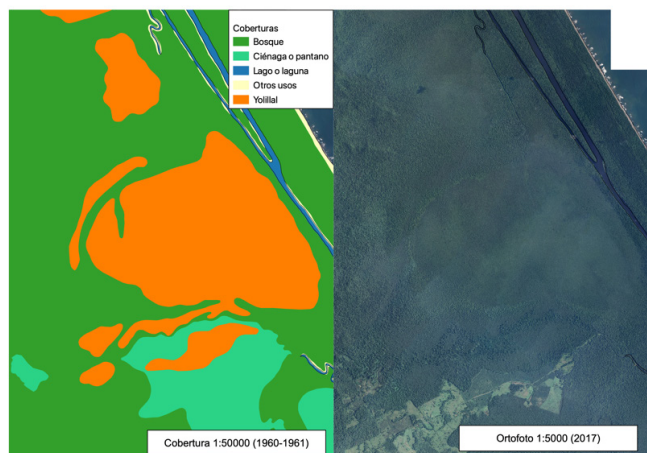


Figura 13. Error de clasificación de bosques y yolillales por “ciénaga o pantano” en la costa Caribe.

6. Conclusiones y Recomendaciones.

La digitalización de las coberturas naturales de la 1a Edición de hojas cartográficas escalas 1:25 000 y 1:50 000 representan las únicas dos líneas base históricas digitales de carácter nacional y regional disponibles. Ambas capas presentan varias ventajas que se resumen a continuación:

- a) Las hojas cartográficas se elaboraron empleando fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro, escalas 1:20 000 y 1:50 000 tomadas por el Instituto Geográfico de Costa Rica (IGN) con el apoyo de varias agencias de U.S y del Instituto Geodésico Interamericano.
- b) Se aplicaron protocolos estandarizados internacionalmente para la toma de fotografías aéreas, operaciones de campo, geodesia, proyecciones cartográficas en coordenadas Lambert, fotointerpretación, aerotopografía, determinación de escalas, edición e impresión de mapas.
- c) Los errores de georreferenciación de las hojas cartográficas escaneadas están por debajo de los valores aceptables para las hojas cartográficas de la época.
- d) Las clases de coberturas incluidas en ambas capas son de carácter general para los ecosistemas naturales del país y con unidades de mapeo comparables a las clasificaciones realizadas desde los años 90 y a los últimos dos estudios del SINAC del 2015 y 2023.
- e) La cobertura de nubes de las capas digitales generadas fue mínima, pues apenas representa 0.45 % del territorio nacional para las hojas cartográficas 1:50 000 y del 0 % para las hojas cartográficas 1:25 000.
- f) La clasificación de coberturas naturales de la mayoría de las hojas cartográficas 1:50 000 tienen una actualización empleando fotografías entre los años 1961-1967 (92.5% del total de hojas cartográficas). En el caso de las hojas cartográficas 1:25 000 un 94% de las hojas cartográficas tiene una base de fotografías aéreas del año 1945. Esto resulta en una clasificación de coberturas naturales con una temporalidad muy homogénea para ambas capas, considerando el nivel tecnológico para esa época.

Entre las limitaciones a considerar para el uso de las capas digitales generadas en este estudio se resaltan dos:

- a) En la capa 1:25 000 existe la incertidumbre de no haber completado la fotointerpretación de al menos una hoja cartográfica.
- b) La interpretación y clasificación de las coberturas naturales en ambas capas presentan algunas inconsistencias en las coberturas naturales. Sin embargo, estas inconsistencias se pueden delimitar para ajustarlas empleando información complementaria de otras fuentes.
- c) Las clasificaciones de las coberturas "húmedales y pantanos" en la capa 1:50 000 presentan la mayor incertidumbre debido a que se pueden confundir con las pasturas de la ganadería. En este caso, al igual que la clasificación de cuerpos de agua, se recomienda tener mayor cautela en su uso.

A los usuarios de este estudio se les recomienda revisar los Anexos 3 y 4 que incluyen información adicional para cada hoja cartográfica de ambas capas. Esta información facilitará valorar el nivel de actualización de las coberturas de cada hoja cartográfica. También se advierte que las capas de coberturas naturales extraídas en este estudio representan la información tal como fue interpretada, clasificada y publicada en formato impreso por el IGN en las primeras ediciones de las hojas cartográficas escala 1:25 000 y 1:50 000.

7. Reconocimientos:

Los investigadores reconocen el apoyo recibido por parte de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica con el Proyecto de Investigación número 1401095, del Centro de Innovación e Investigación Forestal (CIIF-TEC) y de la Fundación MarViva. Se agradece al IGN la cooperación al suministrar el material cartográfico y al CeNAT-CONARE por hospedar en sus servidores la cartografía digital generada en este estudio, la cual es accesible a través del nodo del PRIAS (CeNat) incorporado al SNIT del IGN.

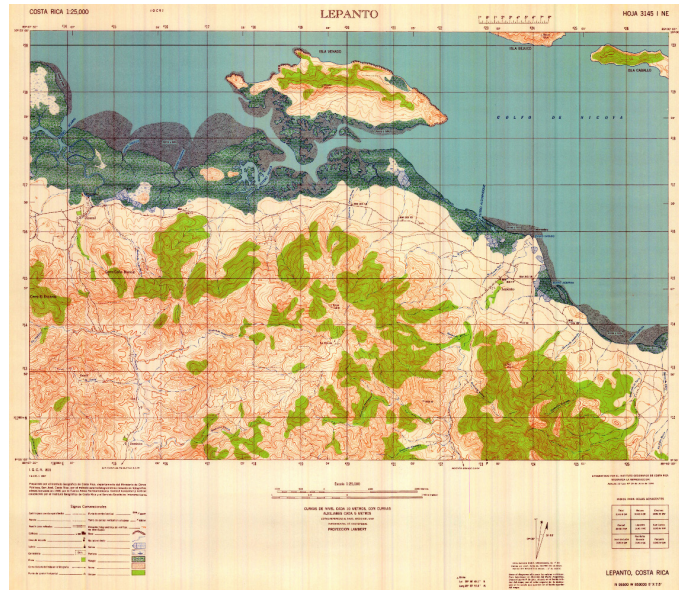
8. Referencias.

- Barrantes, M. 1954. Introducción a la Cartografía. Serie: Publicaciones de Divulgación Cartográfica. Instituto Geográfico de Costa Rica. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica. 56 pp.
- Carstensen, L. W., & Campbell, J. B. 1991. Desktop scanning for cartographic digitization and spatial analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 57(11), 1437-1446.
- Chen, Y. Y., Huang, W., Wang, W. H., Juang, J. Y., Hong, J. S., Kato, T., & Luysaert, S. 2019. Reconstructing Taiwan's land cover changes between 1904 and 2015 from historical maps and satellite images. *Scientific reports*, 9(1), 3643. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40063-1>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2012. Reseña sobre la conformación del Mapa Básico de Costa Rica a escala 1:50.000. Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica. 15 pp.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2017. Mosaico de Ortofotos escala 1:5000. 2014-2017. Instituto Geográfico Nacional. San José. Costa Rica. [SNIT \(snitcr.go.cr\)](http://snitcr.go.cr)
- Kappelle, M. 2016. Costa Rica's ecosystems: Setting the stage. pp. 3-16. En: Kappelle, M. (ed). *Costa Rican Ecosystems*. The University of Chicago Press. Chicago, US.
- Kappelle, M. y Horn, S.P. 2016. The Paramo ecosystem of Costa Rica's highlands. pp. 492-523. En: Kappelle, M. (ed). *Costa Rican Ecosystems*. The University of Chicago Press. Chicago, US.
- Leyk, S., & Boesch, R. (2009). Extracting composite cartographic area features in low-quality maps. *Cartography and Geographic Information Science*, 36(1), 71-79. DOI: [10.1559/152304009787340115](https://doi.org/10.1559/152304009787340115)
- Liu, T., Xu, P., & Zhang, S. 2019. A review of recent advances in scanned topographic map processing. *Neurocomputing*, 328, 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.102>.
- Morera, C., Sandoval, L. y Pintó, J. 2018. Transformaciones espacio-temporales de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Corcovado, 1960-2014. *Revista Biología Tropical*. Vol. 66(1): 352-367. <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i1.28925>

- Nelson, C., Lasagna, B., Holtgrieve, D., & Quinn, M. 2003. The Central Valley historic mapping project. *Geographical Information Center, California State University, Chico, CA, USA.*
- Pérez, S. y Protti, F. 1978. Comportamiento del sector forestal durante el período 1950-1977. Oficina de Planificación Sectorial OPSA. DOC-OPSA-15. San José.
- Sader, S., A. and Joyce, A., T. 1988. Deforestation rates and trends in Costa Rica. 1940 to 1983. *Biotropica*. 20: 11.19
- Quesada, C., Sánchez-Azofeifa, A. y Calvo-Alvarado, J. 1998. Estudio de cambios de cobertura forestal de Costa Rica, 1987-1997. Centro Científico Tropical, Universidad de Costa Rica, Conservation International. Estudio elaborado para el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). 50 pp.
- Sandner, G. 1963. La cartografía centroamericana. Su desarrollo e importancia para la economía y planificación. En: Informe Semestral II. Instituto Geográfico de Costa Rica. 25-76 pp. Reeditado en 1982 por la Revista Geográfica de América Central. No 15-16. pp 119-140.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2015). Cartografía base para el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica 2013-2014. *Preparado por Ortiz, E. et al. como consultor para el Inventario Forestal Nacional de Costa Rica, dentro del marco del Programa REDD/CCAD/GIZ. San José, Costa Rica. 52 pp.*
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) 2023. Mapa de Bosques y otras Coberturas de la Tierra 2021 para Proyecto Inventario Forestal Nacional. Proyecto Costa Rica REDD+ Pago Basado en Resultados 2014-2015. PNUD-SINAC-FONAFIFO- (Documento en Borrador)
- Skaloš, J., Weber, M., Lipský, Z., Trpáková, I., Šantrůčková, M., Uhlířová, L., & Kukla, P. 2011. Using old military survey maps and orthophotograph maps to analyse long-term land cover changes—Case study (Czech Republic). *Applied geography*, 31(2), 426-438. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.10.004>.
- Statuto, D., Cillis, G., & Picuno, P. 2017. Using historical maps within a GIS to analyze two centuries of rural landscape changes in Southern Italy. *Land*, 6(3), 65. <https://doi.org/10.3390/land6030065>
- U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey. 1999. Map Accuracy Standards. USGS Fact Sheet 171-99 Map Accuracy Standards (usgs.gov)

9. Anexos

Anexo 1. Hoja cartográfica 1:25 000 Lepanto, basado en fotografías aéreas 1945 y publicada en 1957 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.



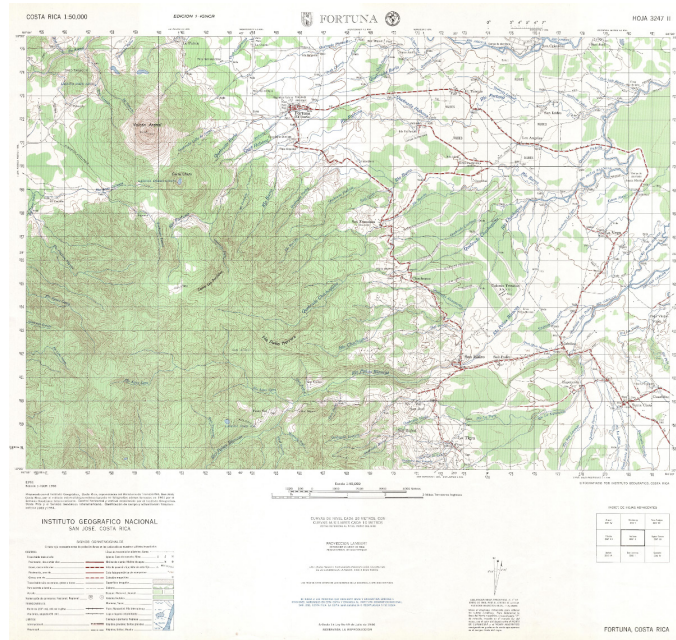
I.G.C.R. 1 1957

Preparado por el Instituto Geográfico de Costa Rica, departamento del Ministerio de Obras Públicas, San José, Costa Rica, por el método estereofotogramétrico basado en fotografías aéreas tomadas en 1945 por la Fuerza Aérea Norteamericana. Control horizontal y vertical establecido por el Instituto Geográfico de Costa Rica y el Servicio Geodésico Interamericano.

Signos Convencionales

Camino para carreta o para bestia	-----	Punto de control vertical	_____ BM X 207
Vereda	-----	Punto de control vertical sin amojonar	_____ X 68 M
Puente para vehículos	=====	Elevación fotogramétrica sin verificar, no identificable	_____ * 76
Edificios	■ ■ ■ ■	Roca	⬢
Casa de escuela	■	Rio intermitente	~~~~~
Iglesia	✝	Salina	⬢
Cementerio	Cem.	Pantano	⬢
Plaza	■	Mangle	⬢
Cerca divisoria definida en la fotografía	x-x-x-x	Arena	⬢
Punto de control horizontal	_____ △	Bosque	⬢

Anexo 2. Hoja cartográfica 1:50 000 Fortuna, basado en fotografías aéreas 1961 y publicada en 1966 por el Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica.



E761
Edición 1-IGCR 1966

Preparado por el Instituto Geográfico, Costa Rica, dependencia del Ministerio de Transportes, San José, Costa Rica, por el método estereofotogramétrico basado en fotografías aéreas tomadas en 1961 por el Servicio Geodésico Interamericano. Control horizontal y vertical establecido por el Instituto Geográfico, Costa Rica y el Servicio Geodésico Interamericano. Clasificación de campo y actualización fotoplani-métrica 1963 y 1964.

INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL SAN JOSE, COSTA RICA

SIGNOS CONVENCIONALES

El triángulo rojo representa zonas de población densa en las cuales sólo se muestran edificios importantes

CAMINOS	Linea de transmisión eléctrica; Cerca
Transitable todo el año	Iglesia; Casa de escuela; Mina
Pavimento, dos o más vías	Molino de viento; Molino de agua
Grava, dos o más vías	Hito de posición fija; Hito de cota fija
Pavimento, una vía	Cota fotogramétrica sin comprobar
Grava, una vía	Estación magnética
Transitable sólo en verano, grava o tierra	Superficie irregular
Para carreta o bestia	Sabana
Vereda	Bosque; Matorral; charral
Numeración de carreteras: Nacional; Regional	Arboles frutales
FERROCARRILES	Marisma; Yurro
Vía única (107 cm), colonial inglesa	Pozo; Manantial; Río intermitente
Vía única, angosta (91 cm)	Lago o laguna intermitente
LIMITES	Ciénaga o pantano; Represa
Internacional	Rápidos grandes; Saltos grandes
Provincial	Rápidos; Saltos; Muelle

Anexo 3. Listado de hojas cartográficas 1:25 000 con años de fotografía aérea, fecha de impresión y año de actualización

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Año Impresión	Años de Actualización
Acapulco	1945	1956	ND
Alajuela	1945	1957	ND
Aranjuez	1945	1954	ND
Arenal	1945	1955	ND
Atenas	1945	1956	ND
Bagaces	1945	1956	ND
Ballena	1945	1958	ND
Bebedero	1945	1956	ND
Bebedero	1945	1956	ND
Boca Toro	1945	1956	ND
Bolson	1945	1956	ND
Bongo	1945	1957	ND
Cabo Blanco	1945	1958	ND
Cabo Velas	1945	1954	ND
Candelillo	1945	1957	ND
Canjel	1945	1957	ND
Cartago	1956	1960	ND
Cervantes	1956	1960	ND
Chira	1945	1956	ND
Chomes	1945	1954	ND
Cóbano	1945	1957	ND
Colonia Carmona	1945	1957	ND
Colorado	1945	1955	ND
Comunidad	1945	1953	ND
Corobicí	1945	1956	ND
Coyote	1945	1957	ND

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Año Impresión	Años de Actualización
Culebra	1945	1954	ND
Curú	1945	1958	ND
El cortés	1945	1956	ND
Esparta	1945	1954	ND
Filadelfia	1945	1958	ND
Gamalotal	1945	1957	ND
Grecia	1945	1955	ND
Guiones	1945	1957	ND
Hojancha	1945	1957	ND
Juan de León	1945	1957	ND
La Cruz	1945	1953	ND
La Guaria	1945	1957	ND
La Mansión	1945	1957	ND
Lagarto	1945	1955	ND
Lagunilla	1945	1957	ND
Lajas	1945	1955	ND
Las Palmas	1945	1956	ND
Lechuza	1945	1957	ND
Lepanto	1945	1957	ND
Liberia	1945	1956	ND
Los Planes	1945	1955	ND
Macacona	1945	1959	ND
Mal País	1945	1957	ND
Manzanillo	1945	1955	ND
Maquenco	1945	1957	ND
Marbella	1945	1957	ND
Montaña Grande	1945	1957	ND
Monte de Plata	1945	1953	ND
Monte Romo	1945	1957	ND

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Año Impresión	Años de Actualización
Montezuma	1945	1957	ND
Nagatac	1945	1958	ND
Nicoya	1945	1956	ND
Nosara	1945	1957	ND
Ora	1945	1957	ND
Orotina	1945	1958	ND
Palmares	1945	1955	ND
Palo Verde	1945	1956	ND
Paquera	1945	1958	ND
Peñas Blancas	1945	1953	ND
Piedras	1945	1956	ND
Playa Azul	1945	1957	ND
Potrero	1945	1954	ND
Pozo Azul	1945	1956	ND
Pueblo Nuevo	1945	1957	ND
Puerto Humo	1945	1956	ND
Punta Gorda	1945	1954	ND
Puntarenas	1945	1954	ND
Puriscal	1956	1961	ND
Quebrada Honda	1945	1956	ND
Quirimán	1945	1957	ND
Río Seco	1945	1957	ND
Río Zelaya	1945	1957	ND
Salto	1945	1956	ND
Sámara	1945	1957	ND
San Antonio	1945	1957	ND
San José	1958	1962	1960
San Juan	1945	1957	ND
San Juanillo	1945	1957	ND

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Año Impresión	Años de Actualización
San Lázaro	1945	1957	ND
San Lucas	1945	1958	ND
San Mateo	1945	1958	ND
San Miguel	1945	1953	ND
San Pablo	1945	1959	ND
Santa Ana	1945	1956	ND
Santa Cruz	1945	1957	ND
Sardinal	1945	1954	ND
Taboga	1945	1956	ND
Tamarindo	1945	1957	ND
Thiel	1945	1956	ND
Tivives	1945	1954	ND
Turrialba	1956	1960	ND
Turrúcares	1956	1962	1960
Veintisiete	1945	1957	ND

Anexo 4. Listado de hojas cartográficas 1:50 000, año y rango de años de fotografía aérea, años de actualización y año de impresión.

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Rango años de Fotografías	Años de actualizaciones	Año Impresión
Abangares	1945-1965	1945-1967	1967	1967
Abra	1956	1956-1961	1959-1960-1962	1964
Agua Fría	1960-1961	1960-1961	1965-1966	1967
Aguas Zarcas	1961	1960-1961	1964-1965	1967
Ahogados	1960	1960-1961	1963-1964	1966
Amubri	1960-1961	1960-1961	1966	1969
Arenal	1961-1965	1961-1965	1963-1964-1965	1966
Bahía de Salinas	1956	1956-1961	1960-1964	1965
Barba	1956	1956-1961	ND	1961
Barbilla	1960-1961	1960-1961	1961-1962	1963
Barranca	1945	1945	ND	1960

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Rango años de Fotografías	Años de actualizaciones	Año Impresión
Belén	1945-1967	1945-1967	1967	1968
Berrugate	1945	1945	ND	1960
Bonilla	1960	1960-1961	ND	1967
Buenos Aires	1956	1961-1965	1961-1962	1963
Burica	1960	1960-1961	1965	1970
Cabagra	1956	1956-1961	1962	1964
Cabuya	1945	1945	ND	1960
Cacao	1956-1961-1965	1956-1966	1964-1965	1965
Cahuita	1960	1960-1961	1961-1962	1963
Cairo	1965	1961-1965	1965	1966
California	1960-1961	1960-1961	1962-1966	1967
Candelaria	1956-1957	1956-1961	ND	1961
Canoas	1960	1960-1961	1965	1970
Cañas	1945-1956-1961	1945-1961	1963	1965
Cañas Gordas	1958-1959-1960	1956-1961	ND	1965
Caraigres	1966-1957	1956-1966	ND	1961
Carate	1960	1960-1961	1962	1965
Carrillo	1956-1960-1961	1956-1961	1965-1966	1967
Carrillo Norte	1945	1945	ND	1955
Cerro Azul	1945-1965	1945-1967	1969	1969
Cerro Brujo	1945-1965	1945-1967	1968	1968
Changuena	1960	1960-1961	1962	1964
Chaparrón	1960-1961	1960-1961	1965	1966
Chapernal	1945-1965	1945-1967	1967	1967
Chirripó	1960-1961	1960-1961	1966	1968
Chirripó Atlántico	1960-1961	1960-1961	1965	1966
Colorado	1961	1960-1961	1965	1970
Coronado	1956-1960	1956-1961	1963	1965
Coto Brus	1956-1960	1956-1961	1961-1962	1964
Cuerici	1956	1956-1961	1961	1965

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Rango años de Fotografías	Años de actualizaciones	Año Impresión
Curubande	1961	1960-1961	1963-1964-1965	1966
Cutris	1961	1960-1961	1965	1970
Diriá	1945-1965	1945-1967	1967	1968
Dominical	1956-1957	1956-1961	1960	1962
Dota	1957	1956-1961	1959-1960	1962
Durika	1958-1959-1960	1956-1961	ND	1965
Estrella	1960	1960-1961	1966	1968
Fortuna	1961	1960-1961	1963-1964	1966
Garza	1945-1965	1945-1967	1968	1969
General	1950	1945-1956	1962-1963	1964
Golfito	1960	1960-1961	1962-1963	1965
Golfo	1945	1945	ND	1960
Golfo Dulce	1960	1960-1961	1962	1964
Gúacimo	1960	1960-1961	1961-1965	1967
Gúapiles	1960	1960-1961	1965	1967
Guatuso	1951-1965	1951-1965	1965	1966
Herradura	1956-1957	1956-1961	ND	1961
Infiernito	1961	1960-1961	1965	1966
Istarú	1956-1957	1956-1961	ND	1961
Juntas	1945-1956-1961	1945-1961	1963	1966
Kamuk	1956-1961	1956-1961	ND	1971
Laurel	1960-1961	1960-1961	1965	1970
Llorona	1960	1960-1961	1962	1965
Los Chiles	1961	1960-1961	1965	1970
Madrigal	1960	1960-1961	1962	1965
Marbella	1945-1965	1945-1967	1968	1968
Matama	1960-1961	1960-1961	1966	1968
Matambú	1945-1965	1945-1967	1968	1968
Matapalo	1945-1965	1945-1967	1967	1968
Matina	1960-1961	1960-1961	1961-1962	1962

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Rango años de Fotografías	Años de actualizaciones	Año Impresión
Medio Queso	1961	1960-1961	1965	1966
Miramar	1945-1956-1961	1945-1961	1963	1965
Miravalles	1961-1965	1961-1965	1964-1965	1966
Moín	1960	1960-1961	1961-1962	1962
Monterrey	1961-1965	1961-1965	1964-1965	1966
Monteverde	1945-1956-1961	1945-1967	1964	1966
Murciélago	1945-1956	1945-1956	1963	1965
Namaki	1960-1961	1960-1961	1966	1970
Naranjo	1945-1956-1961	1945-1961	1963-1964 - 1965-1966	1967
Orosi	1956-1965	1956-1966	1964-1965	1966
Parismina	1960	1960-1961	1959-1961-1962	1963
Parrita	1965-1957	1956-1966	ND	1961
Pavón	1960-1961	1960-1961	1965	1970
Pejibaye	1956-1960-1961	1956-1961	1959-1966	1968
Peñas Blancas	1956	1956-1961	1960-1964	1965
Piedras Blancas	1960	1960-1961	1962	1962
Pittier	1956	1956-1961	1956	1969
Poás	1956-1960-1961	1956-1961	1964-1965	1967
Pocosol	1961	1960-1961	1965	1970
Puerto Armuelles	1960-1961	1960-1961	1965	1970
Puerto Coyote	1945-1965	1945-1967	1968	1968
Punta Castilla	1961	1960-1961	1965	1970
Punta Gorda	1945-1965	1945-1967	1967	1967
Quepos	1957	1956-1961	ND	1961
Quesada	1956-1960	1956-1961	1963-1964-1965	1966
Repunta	1956	1956-1961	1961	1964
Rincón	1960	1960-1961	1962	1964
Río Ario	1945	1945	1970-1971	1971
Río Banano	1960	1960-1961	1961-1962	1963

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Rango años de Fotografías	Años de actualizaciones	Año Impresión
Río Caña Blanca	1960	1960-1961	1965	1970
Río Cuarto	1960-1961	1960-1961	1965	1966
Río Grande	1945-1956	1945-1956	1964	1965
Río Sucio	1960-1961	1960-1961	1965	1967
San Andrés	1960	1960-1961	1962	1963
San Isidro	1956-1957	1956-1961	1960-1961	1964
San Jorge	1961	1960-1961	1965	1966
San Lorenzo	1961	1960-1961	1963-1964	1966
Santa Elena	1956	1956-1961	1963-1964	1965
Savegre	1956-1957	1956-1961	1960	1962
Sierpe	1960	1960-1961	1962	1965
Siola	1956-1960-1961	1956-1961	1966	1968
Sixaola	1960-1961	1960-1961	1966	1969
Sukut	1960-1961	1960-1961	1966	1971
Talolinga	1945-1965	1945-1967	1967	1967
Tambor	1965	1961-1965	ND	1960
Tapantí	1956-1960	1956-1961	1956-1960-1961	1963
Tárcoles	1956-1957	1956-1961	ND	1961
Telire	1960-1961	1960-1961	1966	1968
Tempisque	1945-1965	1945-1967	1967	1968
Térraba	1960	1960-1961	1962	1965
Tierras Morenas	1952-1960-1961	1951-1965	1963-1964-1965	1966
Tilarán	1945-1961	1945-1961	1963-1964	1966
Tortuguero	1960-1961	1960-1961	1965	1966
Tres Amigos	1960-1961	1960-1961	1964-1965	1966
Trinidad	1961	1960-1961	1965	1970
Tucurrique	1956-1961	1956-1961	1959-1961	1963
Unión	1956-1960	1956-1961	1965	1970
Upala	1965	1961-1965	ND	1966

Hoja Cartográfica	Años Fotografías Aéreas	Rango años de Fotografías	Años de actualizaciones	Año Impresión
Venado	1945	1945	ND	1960
Villareal	1945-1965	1945-1967	1967	1968
Vueltas	1956-1957	1956-1961	1960-1961	1962
Zapote	1961-1965	1961-1965	1965	1966