



Universidad de Pinar del Río

Facultad de Geología- Mecánica

Departamento de Geología

Trabajo de diploma.

Título: Pronóstico de depósitos de grava y arena en la red fluvial de la Llanura Sur de Pinar del Río.

(Tesis en opción al título de Ingeniero Geólogo)

Autores: Ahmed Armando Tellez Ramírez

Carlos Javier Cueto Gil

Tutor : MSc. Elmidio Estévez Cruz

Pinar del Río, 2009

Pensamiento

*Hay hombres que luchan un día y son buenos;
Hay otros que luchan un año y son mejores;
Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos;
Pero hay los que luchan toda la vida, esos son los imprescindibles.*

Bertolt Brecht

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Tribunal

Secretario

Vocal

Ciudad y fecha:

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Declaro que soy autor(a) de este Trabajo de Diploma y que autorizo a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____

Ahmed Armando Tellez Ramírez



Ahmed Armando Tellez Ramírez autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Ahmed Armando Tellez Ramírez autoriza al Departamento de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[Inserte URL del repositorio]"

Ahmed Armando Tellez Ramírez autoriza al Departamento de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesis disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Declaro que soy autor(a) de este Trabajo de Diploma y que autorizo a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Firma: _____

Carlos Javier Cueto Gil



Carlos Javier Cueto Gil autoriza la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Carlos Javier Cueto Gil autoriza al Departamento de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[Inserte URL del repositorio]"

Carlos Javier Cueto Gil autoriza al Departamento de Geología adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesinas disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado.

A todos mis compañeros de estudio Pablo, Jaruco, Odel, Leodan, Julián, Ulises, Yusdanis, Carlos, Yandy, Yineydis, Nhan, Catherine, Darlenis, Osmani, Bruno y José y mis mejores amigos, por estar conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mi novia por su comprensión y apoyo.

A toda mi familia por el estímulo y confianza que siempre tuvieron en mí.

A todas las personas que de una forma u otra hicieron posible la realización de este trabajo.

DEDICATORIAS

Este trabajo de Diploma está dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres que han estado presentes en todo momento de mi vida de estudiante y de forma permanente en toda la etapa de realización de esta tesis.

A mi tutor por toda su dedicación y valiosa colaboración

AGRADECIMIENTOS

A mis padres especialmente a mi mamá, por el apoyo incondicional e irrepetible que me han brindado, dedicando muchos años de su vida a mi formación educativa y profesional.

A todos mis compañeros de estudio, Pablo, Jaruco, Odel, Leodan, Julián, Ulises, Yusdanis, Carlos, Yandy, Yineydis, Nhan, Catherine, Darlenis, Osmani, Bruno y José y mis mejores amigos, por estar conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida.

A mi novia Danay por entrar en mi vida dando luz, comprensión y apoyo incondicional.

A mis suegros, por ser yo, un hijo más para ellos.

A toda mi familia, especificando a mis tías, especialmente a Angela, que lo dieron todo, gracias por el estímulo y confianza que siempre tuvieron en mí.

A todos los profesores del Departamento de Geología por ser cada día, más profesionales y a todos los que contribuyeron, especialmente a nuestro tutor Elmidio Estevéz Cruz.

A esta obra tan grande que se llama “REVOLUCIÓN”.

DEDICATORIA

Esta Tesis de Diploma está dedicada a toda mi familia, en especial a mis padres, específicamente a mi mamá Olimpia, a mis tías(o), (Angela), a mi novia Danay, todos ellos han estado presentes en todo momento de mi vida de estudiante y de forma permanente en toda la etapa de realización de esta tesis.

Resumen

El objetivo del presente trabajo es revelar áreas con alto potencial mineral para contener depósitos de arena y grava, asociados a la red fluvial. La investigación se realizó en toda la Llanura Sur de Pinar del Río, excluyendo la parte sur occidental. Como parte del trabajo, se llevó a cabo un estudio detallado de la red de drenaje con el objetivo de establecer, de forma preliminar, las regularidades en la localización de los yacimientos buscados y evaluar la influencia de la litología y la tectónica sobre el diseño de la red de drenaje.

En el pronóstico se emplearon diferentes tipos de mapas de evidencias que representan los criterios derivados del modelo descriptivo para este tipo de yacimiento. Para la integración de los mapas en plataforma SIG se emplearon los modelos de lógica booleana y la superposición indexada. Los pesos de los atributos se estimaron a partir del conocimiento geológico que se tiene sobre los yacimientos de este tipo.

La metodología utilizada permitió revelar 26 sectores perspectivos, los cuales se asocian a 10 cuencas hidrográficas. Las áreas favorables fueron detalladas en imágenes Google georeferenciadas, para identificar evidencias de migración del cauce y formas deposicionales que avalen la favorabilidad del sector (barras marginales, meandros abandonados, paleocauces y colleras). El estudio demostró la utilidad del empleo combinado, en plataforma SIG, de información geológica, suelos, relieve y espectrometría aérea, para estudios de pronóstico de depósitos aluviales de grava y arena. Finalmente, se demostró que las anomalías detectadas en la red drenaje poseen una orientación que coincide con los sistemas de fallas cartografiados en la zona

Palabras claves: potencial mineral, aéreo-espectrometría gamma, yacimientos, paleocauces, barras marginales, depósitos aluviales, red fluvial.

Abstract

The objective of the present research is to reveal areas with high mineral potential to host sand and gravel deposits, associated to the drainage network. The investigation was carried out in the whole South Plain of Pinar del Río, excluding its south western part. In first place a detailed study of the drainage network was carried out with the objective of revealing, in a preliminary way, the regularities in the location of the sought deposits and to evaluate the litology and the tectonics influence on the design of the drainage network.

In the mineral potential mapping different types of maps of evidences were used, that represent the ore controls derived from descriptive model for this type of mineral deposit. For the integration of the maps in a GIS platform, the Boolean logic and the index overlay models were used. The weights of the attributes were estimated based on the geologic knowledge of known mineral deposits

The used methodology allowed to reveal 26 sectors, which are associated to 10 drainage basins. The favorable areas were detailed in georeferenced Googles Earth images, to identify evidences of channel migration and depositional landforms that support the mineral potential of the sector (point bars, abandoned meanders, paleochannels and ox-bow lake).

The study demonstrated the utility of the combined employment in GIS platform of geologic information, soil, relief and airborne gamma-ray spectrometry, for studies of mineral potential mapping of alluvial sand and gravel deposits. Finally, it was demonstrated that the drainage anomalies possess an orientation that coincides with the faults systems mapped in the area.

Key words: potential mineral, airborne gamma-ray spectrometry, mineral deposit, paleochannels, point bar, alluvial deposit, drainage network.

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

Resumen

Abstract

Introducción.....1

Diseño teórico de la investigación4

Capítulo I. Características Físico - Geográficas de la Región.....5

I.1. Ubicación geográfica.7

I.2. Relieve..... **¡Error! Marcador no definido.**

I.3. Vías de acceso..... **¡Error! Marcador no definido.**

I.4. Características económicas..... **¡Error! Marcador no definido.**

I.5. Clima. **¡Error! Marcador no definido.**

I.6. Vegetación. **¡Error! Marcador no definido.**

I.7. Hidrogeología..... **¡Error! Marcador no definido.**

Capítulo II. Características Geológicas Regionales..... **¡Error! Marcador no definido.**

II.1. Geología de la región. **¡Error! Marcador no definido.**

II.2. Estratigrafía. **¡Error! Marcador no definido.**

II.3. Tectónica. **¡Error! Marcador no definido.**

II.4. Magmatismo..... **¡Error! Marcador no definido.**

II.5. Suelos..... **¡Error! Marcador no definido.**

II.6. Principales yacimientos minerales, concesiones y prospectos.**¡Error! Marcador no definido.**

II.7. Génesis de los yacimientos. **¡Error! Marcador no definido.**

II.8. Dinámica fluvial. **¡Error! Marcador no definido.**

Capítulo III. Metodología de las Investigaciones. **¡Error! Marcador no definido.**

III.1. Revisión bibliográfica sobre el tema. **¡Error! Marcador no definido.**

III.2. Modelo Geológico Conceptual. **¡Error! Marcador no definido.**

III.3. Captura de datos. **¡Error! Marcador no definido.**

III.4. Procesamiento de datos..... **¡Error! Marcador no definido.**

III.4.1 Modelo de elevación digital. **¡Error! Marcador no definido.**

III.4.2 Mapa de disección vertical. **¡Error! Marcador no definido.**

III.4.3 Mapa de disección horizontal. **¡Error! Marcador no definido.**

III.4.4 Integración y análisis.	¡Error! Marcador no definido.
III.4.5 Análisis del drenaje.....	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO IV. Integración y análisis de los resultados.	¡Error! Marcador no definido.
IV.1 Mapa geológico.....	¡Error! Marcador no definido.
IV.2 Mapa de suelo.	¡Error! Marcador no definido.
IV.3 Mapa de sedimentos aluviales.	¡Error! Marcador no definido.
IV.4 Mapa de disección horizontal.	¡Error! Marcador no definido.
IV.5 Mapa de frecuencia.	¡Error! Marcador no definido.
IV.6. Mapa espectrométrico del potasio.....	¡Error! Marcador no definido.
IV.7. Mapa pronóstico para depósitos de arena y grava.	¡Error! Marcador no definido.
IV.8. Análisis del drenaje.	¡Error! Marcador no definido.
IV.8.1. Individualización de subáreas.	¡Error! Marcador no definido.
IV.8.2. Anomalías del drenaje.	¡Error! Marcador no definido.
IV.8.3 Análisis azimutal del drenaje.	¡Error! Marcador no definido.
IV.9. Cartografía de formas deposicionales.	¡Error! Marcador no definido.
Conclusiones.....	¡Error! Marcador no definido.
Recomendaciones	¡Error! Marcador no definido.
Referencias bibliográficas	¡Error! Marcador no definido.
Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 1: Perfiles topográficos de la región de estudio.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2: Mapa de principales yacimientos minerales, prospectos y concesiones mineras.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3: Mapa de disección vertical, elaborado a partir del MDT.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 4: Mapa espectrométrico del canal del potasio con la red fluvial.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5: Mapa pronóstico para depósitos de grava y arena aplicando el método de logica booleana.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6: Mapa pronóstico para depósitos de grava y arena aplicando el método de superposición indexada (suma algebraica).	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 7: Mapa con los sectores elegidos por los autores... ..	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 8: Mapa con los sectores elegidos por los autores perteneciente a 10 cuencas.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 9: Mapa con los sectores elegidos por Mederos et al. (2009), con el pronóstico reclasificado.....	¡Error! Marcador no definido.

Introducción

En la provincia de Pinar del Río, desde que comenzó la ampliación de la ciudad en la década del 80, se han ejecutados trabajos de prospección y exploración de materiales para la construcción (piedra triturada, grava y arena), los cuales son vital importancia para la economía nacional. En la medida que los suministros actuales se van agotando es necesario encontrar nuevos depósitos que respalden el ritmo constructivo de la provincia y del país. Actualmente existe una gran demanda, producto a los daños ocasionados al fondo habitacional por los huracanes Gustav e Ike.

La poca disponibilidad de materia prima (grava y arena) para la construcción, no es solamente un problema de Cuba. En la actualidad existe una preocupación universal por el agotamiento de estos recursos. Un número creciente de regiones en América del Norte y otras partes del mundo, están experimentando una crisis de agregados. Las reservas existentes están siendo agotadas o esterilizadas, producto a la rápida expansión urbana que impide otros posibles usos del suelo (Bobrowsky y Manson, 1996; y Peel ,2003).

En la provincia se han realizado varios trabajos referidos a la búsqueda de áridos para la construcción en los cauces fluviales. Tal es el caso del Informe sobre la búsqueda de arena para la construcción en el curso del río Cuyaguaje (Klen et al.,1968). El mismo refiere la existencia de 6 zonas perspectivas, elegidas a partir del conocimiento geomorfológico y geodinámico de las corrientes fluviales.

También se reportan otras investigaciones sobre esta temática, como son los informes: Búsqueda detallada y explorativa de arena para la construcción en las márgenes del río Macurije (Navea et al. ,1990) y Búsqueda de arena en el río San Cristóbal (Gallardo, 1978). Para los dos informes antes mencionados, se utilizó la misma metodología, basada en el reconocimiento del área de estudio mediante itinerarios geológicos y perforación de pozos, con el objetivo de discriminar sectores. En el río San Cristóbal los resultados fueron negativos.

La primera referencia con respecto a la búsqueda de arena en paleocauces , la realizó Moreno (1987), para los ríos Hondo y Paso Viejo. Con la identificación de tres depósitos aluviales (dos en las inmediaciones de Consolación del Sur y uno al sur de Paso Real de San Diego), como potenciales tramos de cauces abandonados.

Denis y otros (2009), refiere que los trabajos realizados desde el 2003 por el especialista de la ONRM José L. Mederos indicaron que en los paleocauces de la red hidrográfica de la Llanura Sur de Pinar del Río, se podían encontrar acumulaciones importantes de arena de construcción

Denis y Sobrino (2006), ejecutaron reconocimientos geológicos de arena para la construcción en las cuencas del río Hondo, San Diego y Los Palacios. La metodología utilizada para estos informes consistió en: la interpretación de fotos aéreas, itinerarios geológicos, perforación, sondeos manuales, muestreo de testigo y análisis de muestras. Los resultados fueron positivos con la delimitación de 8 sectores prospectivos para arena de construcción, asociados a cauces abandonados.

Mederos et al. (2009), publicaron los resultados sobre el pronóstico de áreas favorables para la ocurrencia de yacimientos de arena en paleocauces en la parte centro – oriental de la llanura sur, utilizando una metodología diferente a la tradicionalmente empleada en otras regiones del país y basada en la interpretación de fotos aéreas y hojas topográficas. El mismo autor propone un modelo geológico descriptivo, para ese tipo de yacimiento, del cual se parte para la presente investigación.

El trabajo de Mederos y otros, 2009 adolece de varias limitaciones: solamente abarca la zona centro oriental de la Llanura Sur de Pinar del Río, específicamente desde la capital provincial hasta Los Palacios; no utiliza el mapa geológico del área como un criterio fundamental para el pronóstico, el empleo de las herramientas SIG se limitó a la visualización de los resultados y no al procesamiento e integración de información geocientífica regional.

Denis et al. (2009) profundizó el estudio de las áreas perspectivas identificadas por Mederos (2007), mediante el empleo de fotos satelitales, itinerarios geológicos, sondeos manuales etc. Delimitando 8 sectores con características y condiciones favorables para la ocurrencia de depósitos de arena. El trabajo fue efectuado en la cuenca de los ríos Hondo, San Diego y los Palacios.

La presente investigación esta dirigida a revelar áreas con alto potencial mineral para contener depósitos de arena y grava, asociados a la red fluvial, a partir de un pronóstico automatizado en plataforma SIG. El mismo parte de los criterios expuestos por Mederos et al.(2009), sustentándolo con el empleo de nuevos métodos y datos geocientíficos regionales, como son: modelos de integración de lógica booleana y superposición indexada, mapa geológico 1: 100 000, mapa de suelo 1:25 000 y el uso de la aéreo-espectrometría gamma (canal del potasio).

Diseño teórico de la investigación

Título:

Pronóstico de depósitos de grava y arena en la red fluvial de la Llanura Sur de Pinar del Río.

Problema:

Desconocimiento del potencial real de los depósitos de grava y arena asociados a la red fluvial en la Llanura Sur de Pinar del Río, para su uso como áridos naturales en la construcción.

Objetivo General:

Revelar áreas o zonas favorables para la posible ocurrencia de depósitos de arena y grava asociadas a la red fluvial.

Objetivos específicos:

- Profundizar en el estudio de las condiciones geológicas que controlan la ocurrencia de estos depósitos.
- Identificar formas acumulativas (barras., depósitos de diques marginales, lagunas en meandros abandonados, cauces activos y cauces abandonados.
- Cartografiar el potencial mineral para depósitos de arena y grava en el área de trabajo.
- Evaluar la influencia de la litología y la tectónica sobre el diseño de la red de drenaje.

Hipótesis:

A partir del modelo geológico conceptual para los yacimientos de arena asociados a la red fluvial de la región de estudio que explique sus características y factores que controlan su localización y si se integra toda la información relevante sobre la región, en un sistema de información geográfica (SIG), podremos determinar nuevas áreas para la ocurrencia de yacimientos de grava y arena.

Capítulo I. Características Físico - Geográficas de la Región.

I.1. Ubicación geográfica.

La zona de estudio se localiza en toda la Llanura Sur de Pinar del Río, desde el extremo oriental de la provincia hasta el municipio de San Juan y Martínez.

Las Coordenadas Lambert de la zona de estudio son las siguientes:

X min: 198530

X máx: 320653

Y min: 262285

Y máx: 356403

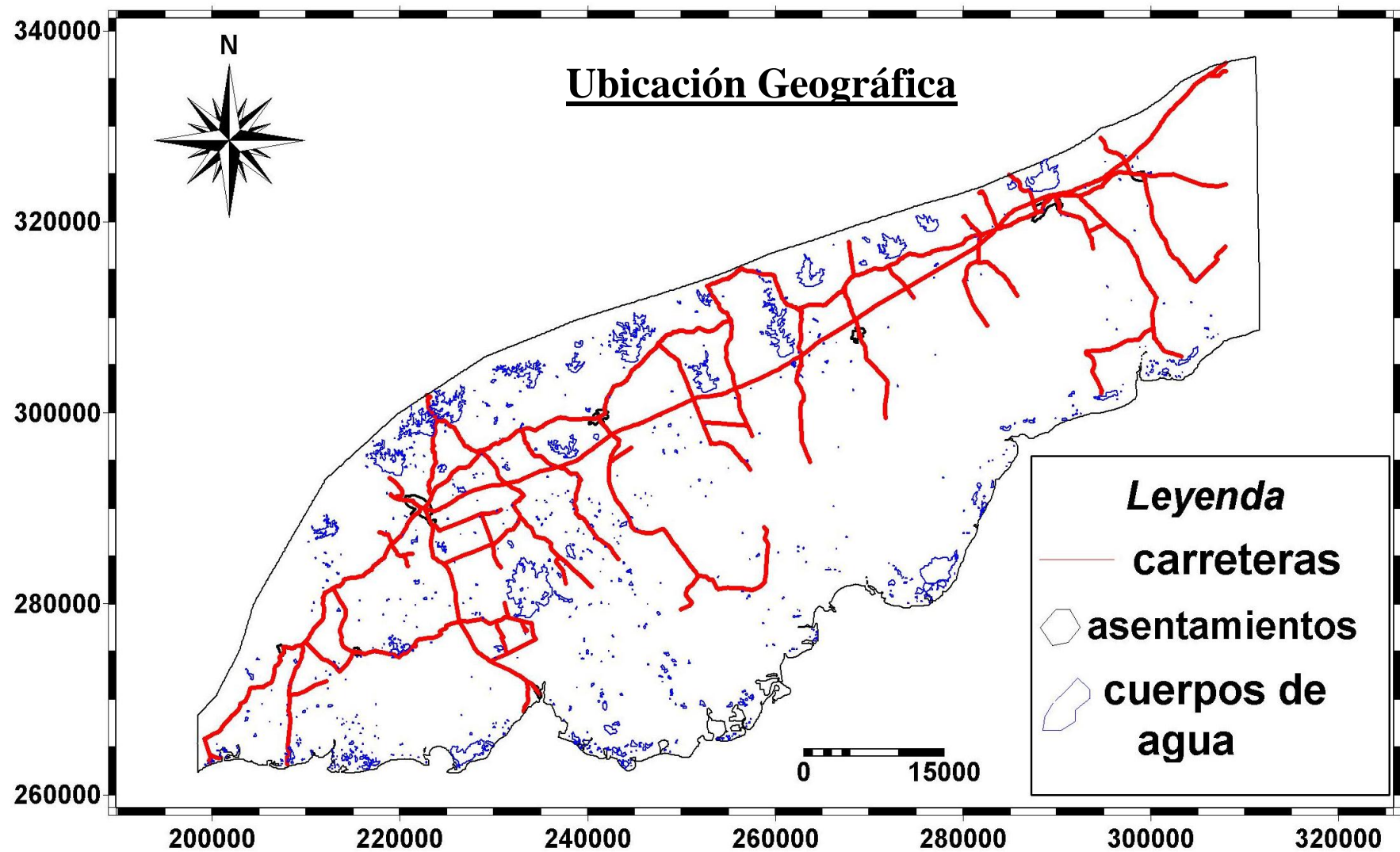


Figura I.1- Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Políticamente el sector de estudio se localiza dentro de los municipios Candelaria, San Cristóbal, Los Palacios, Consolación del Sur, Pinar del Río, San Luis y San Juan y Martínez. Estos municipios pertenecen a la zona sur de la provincia de Pinar del Río y abarcan una extensión de 4026 Km². Los límites aproximados son los siguientes: al Norte, la Sierra de los Órganos; al Sur, el Mar Caribe; al Oeste, el Golfo de México; al Este con la provincia de la Habana.

I.2. Relieve.

La morfología del relieve en la zona es eminentemente llana; en la parte central se mantiene un predominio de un relieve muy suave, con escasas ondulaciones y pequeñas elevaciones que no exceden los 30m de altura. Presenta superficies aterrazadas, las cuales experimentan un cambio paragenético hacia superficies fluvio-marinas, creadas por depósitos deltáicos relativamente potentes, según (Díaz, 2002). Hacia la parte norte del área de estudio, se ubica la zona pre-montañosa, con elevaciones que varían desde los 100-150m y el relieve es bastante abrupto (Anexo 1).

El relieve actual refleja las sucesivas posiciones ocupadas por la línea de costa como resultado de la conjugación de las oscilaciones eustáticas y glacioeustáticas, movimientos neotectónicos, actividad de las corrientes de oleaje y mareas, procesos de acumulación y erosión fluvio-marinas y otros factores de la dinámica litoral Barrios et al, (1988).

I.3. Vías de acceso.

Existe una red de carreteras principales bastante desarrolladas, destacándose la Autopista Nacional y la Carretera Central que une a los poblados de Candelaria, San Cristóbal, Los Palacios, Consolación del Sur, San Luis y San Juan y Martínez con la capital provincial. A su vez, esta última está unida por carretera a las cabeceras municipales. Existe un sistema de caminos forestales y agrícolas que permiten el acceso a la región en casi toda su extensión.

I.4. Características económicas.

Los principales núcleos socio-económicos son los municipios de Candelaria, San Cristóbal, Los Palacios, Consolación Pinar del Río, San Luis y San Juan y Martínez. La región es eminentemente agrícola, siendo los principales cultivos el

tabaco, la caña, el arroz, el tomate, el plátano. Otro renglón de importancia económica es la pesca, donde se identifican localidades pesqueras como La Coloma, ubicándose el Combinado Pesquero de importancia nacional. En el municipio de San Cristóbal se encuentran los Centrales Azucareros, “30 de Noviembre” y “José Martí”.

I.5. Clima.

Predominio de un clima tropical con dos períodos bien definidos, uno de seca (noviembre-abril) y otro lluvioso (mayo-octubre). La temperatura presenta un promedio anual de 25.9 °C (estaciones de Guane, Pinar del Río), con mínimas de 23.1 °C (enero) y máximas de 28 °C (agosto). Las lluvias alcanzan un valor total de 1423 mm (Cabo de San Antonio). La humedad relativa del aire, como promedio, es de 78% y la presión atmosférica de 761.9 mm, predominando los vientos alisios del NE.

I.6. Vegetación.

La vegetación es predominantemente de sabana con poco predominio de material herbáceo y matorrales en grupos aislados. Las zonas menos arenosas permiten la presencia de plantas xerofíticas (marabú y aroma). En la parte más oriental existe una mayor influencia del hombre sobre el medio, por lo que una extensa área se encuentra cultivada.

1.7. Hidrología.

La red fluvial de la Llanura Sur de Pinar del Río, es fundamentalmente dendrítica, existiendo dos cuencas hidrológicas principales: la norte y la sur. La cuenca sur se extiende de norte a sur, desde la misma ladera de la Cordillera de Guaniguanico hasta la línea costera del mismo sector y de este a oeste, desde el municipio de Candelaria hasta San Juan y Martínez. Los cursos fluviales de esta cuenca son mucho más largos, teniendo perfiles longitudinales y transversales más suaves y aplanados, lo que evidencia que las aguas se mueven a velocidades no muy altas, favoreciéndose la sedimentación (Socas, 2003).

Capítulo II. Características Geológicas Regionales.

II.1. Geología de la región.

Desde el punto de vista geológico, la provincia de Pinar del Río puede ser dividida en 3 Unidades Tectono-Estratigráficas: Guaniguanico, Bahía Honda y San Diego de los Baños. El área de estudio, se localiza en la Llanura Sur de Pinar del Río, perteneciente a la unidad San Diego de los Baños e incluye la cuenca de los Palacios. Dicha área no presenta gran complejidad geológica y es bañada por diversas corrientes fluviales en cuyos valles se han acumulado depósitos areno-arcillosos. El área está ocupada en su mayor parte por depósitos Paleogénicos, Neogénicos y Cuaternarios.

Entre las principales formaciones descritas en el área tenemos: Formación Paso Real (Oligoceno Superior – Mioceno Superior Basal), Formación Guane (Plioceno Superior – Pleistoceno Inferior), Formación Guevara (Pleistoceno Inferior Medio) y depósitos del Cuaternario actual (Q_{IV}) (Hernández, 1999).

II.2. Estratigrafía.

De forma general la región de estudio está constituida por una serie de formaciones de orígenes continentales y marinas que culminan con el relleno de algunas cuencas.

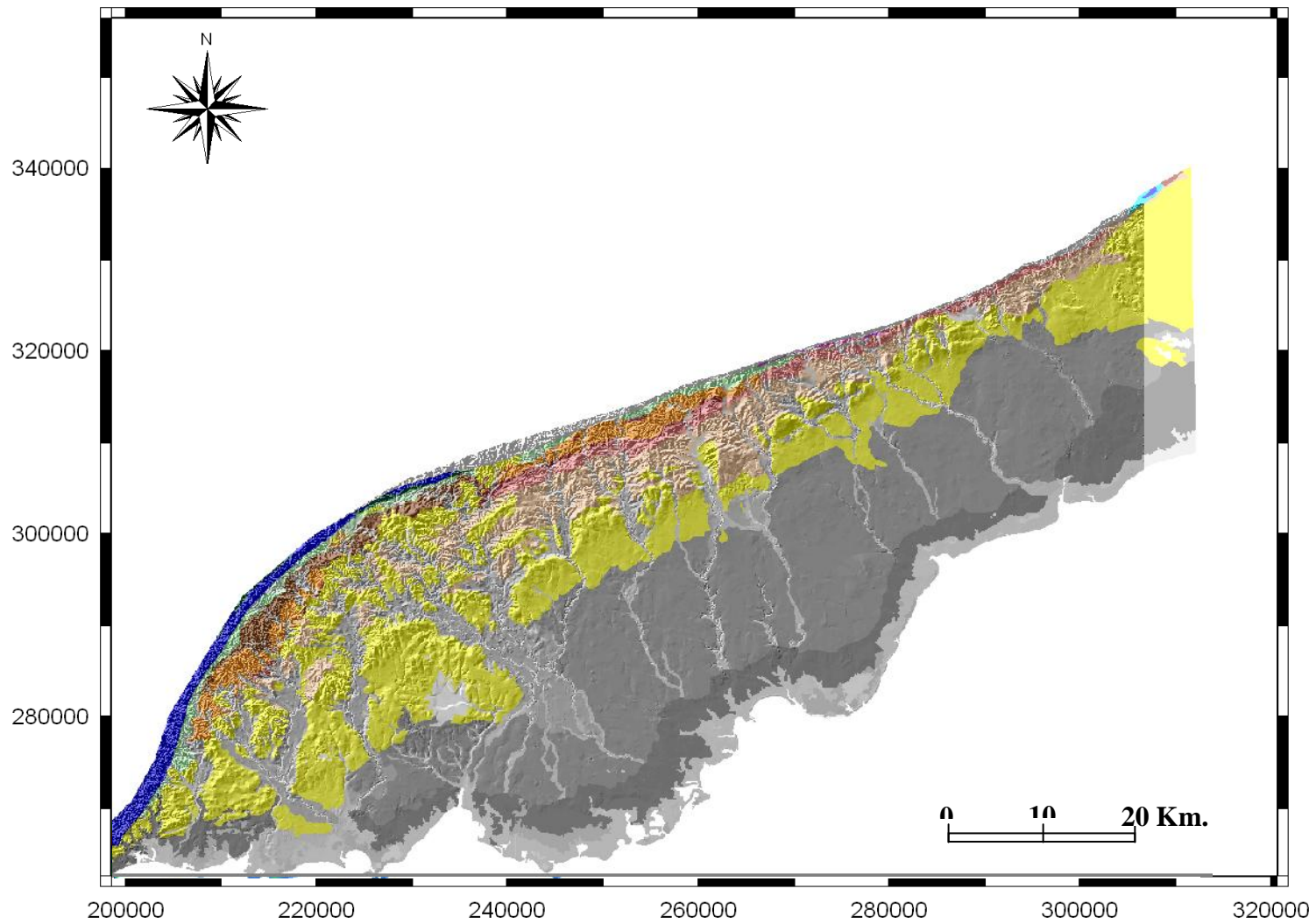


Figura II.2-Mapa geológico 1:100 000 del área de estudio, superpuesto con el mapa de relieve sombreado

LEYENDA





















	a Q ₄	Depósitos aluviales		un P ₂ ¹⁻²	Grupo Universidad
	alQ ₃₋₄	Depósitos aluviales		cp P ₂ ¹	Fm. Capdevila
	amQ ₃₋₄	Depósitos aluviales-marinos		ml P ₂ ¹	Grupo Mariel
	gv Q ₁₋₂	Formación Guevara		K ₂	Depósitos del Cretácico Superior indiferenciados.
	gneN ₂ -Q ₁	Formación Guane		pl K ₁ ^{v-al}	Formación Polier
	psr N ₁ ¹⁻²	Formación Paso Real		st K ₁ ⁿ -K ₂ ^{cm}	Fm. Santa Teresa
	gnN ₁ ²⁻³	Formación Guines		at J ₃ -K ₁ ^{ox v}	Fm. Artemisa
	jr N ₁ ¹	Formación Jaruco		gs J ₃ -K ₁ ^{al t}	Formación Guasasa no diferenciada.
	cj N ₃₋₄	Formación Cojimar		acg1 J ₃ ^{be}	Formación Arroyo Cangre
	lc P ₂ ²⁻³	Formación Loma Candela		sc J ₁ -J ₃ ^{ox}	Formación San Cayetano

Figura II.1- Leyenda del mapa geológico 1:100 000, con las diferentes formaciones del área de estudio.

Formación San Cayetano (sc)

Distribución geográfica: Desarrollada en toda la Cordillera de Guaniguanico, entre el pueblo de Guane y el poblado de Soroa, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnóstica: Intercalaciones de areniscas cuarzo-feldespáticas (Obregón, 1992) con color gris oscuras de grano fino y medio con lutitas y limolitas arcillosas grises o grises oscuras. Al intemperizarse toman colores desde rojizos hasta carmelita.

Relaciones estratigráficas: Se desconocen sus contactos inferiores. Está cubierta concordantemente por las formaciones Artemisa (Mbro. La Zarza), Francisco y Jagua (Mbro. Pan de Azúcar) y discordantemente por las formaciones Guane, Paso Real y Villarroja.

Edad: Jurásico Inferior - Jurásico Superior (Oxfordiano Medio).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un mar somero, influenciado por sedimentación deltaica. En la secuencia de la Sierra de los Órganos, la sedimentación carbonática comenzó, mientras todavía se acumulaban depósitos

terrígenos.

Espesor: No sobrepasa los 6 000 m.

Observaciones: La composición litológica de la formación es bastante variada y en diferentes perfiles las secuencias litológicas son distintas. Además, las complejas relaciones estructurales, en muchos casos, no permiten establecer categóricamente la posición estratigráfica de los complejos litológicos de esta unidad. La cuestión más difícil, y en ocasiones imposible de establecer, es la presencia de los estratos que ocupan la posición más baja en el perfil, la mayoría de los autores considera que las capas más antiguas son las más arcillosas y ricas en restos vegetales.

Formación Arroyo Cangre (acg)

Distribución geográfica: Desde la localidad de Sábalo hasta la región de San Diego de los Baños, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnóstica: Metareniscas cuarcíferas con mica blanca y a veces clorita, filita lustrosa con mica blanca a veces enriquecida en materia carbonosa. Intercalaciones aisladas de calizas cristalinas grises hasta casi negras, cortadas por cuerpos de diabasa y gabroides convertidos en una blastomilonita rica en restos magmáticos y que contiene glaucofana y pumpellita, definiendo un metamorfismo de alta presión y muy bajo grado.

Relaciones estratigráficas: Sus relaciones estratigráficas no están bien definidas. En algunas regiones contacta tectónicamente con las calizas de las formaciones Guasasa y Jagua, que la sobreyacen.

Edad: Jurásico Inferior? - Jurásico Superior (Oxfordiano Medio), por su posición estratigráfica.

Espesor: 700 m.

Observaciones: Por su litología parece tratarse de un equivalente más metamorfozado de la Fm. San Cayetano.

Formación Loma Candela (lc)

Distribución geográfica: Se desarrolla limitadamente, en forma de fajas alargadas y discontinuas, al S de la Cordillera de Guaniguanico, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnósticada: Arcillas calcáreas, calizas arcillosas, margas, areniscas calcáreas, gravelitas y conglomerados.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre los grupos Mariel (formaciones Capdevila y Madruga) y Universidad (Fm. Toledo). Está cubierta transgresivamente por la Fm. Paso Real (parte indiferenciada y su Mbro. Baños).

Edad: Eoceno Medio parte alta.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente nerítico.

Espesor: 250-300 m.

Formación Paso Real (psr)

Distribución geográfica: Es la formación más extendida en el territorio cubano, constituyendo una faja discontinua entre Guane, en el extremo occidental de Cuba, y el Sur de la provincia de Holguín.

Litología diagnósticada: Son característicos en ella los cambios litológicos abruptos tanto vertical como lateralmente. Predominan las alternancias de calizas y margas. Las calizas son arcillosas, biodetríticas arcillosas y más subordinadamente calizas biohémica, calizas dolomitizadas, dolomitas y calcarenitas. Las calizas arcillosas por desagregación originan pseudoconglomerados calcáreos de matriz margoso-arenácea. En general son masivas. Las margas, al igual que las calizas son fosilíferas. Aparecen intercalaciones de areniscas y limolitas calcáreas y arcillas (principalmente esmectita) que contienen en algunos horizontes piritita, yeso, halita y lignito. En el área tipo se observa en la base un conglomerado polimíctico de matriz margosa, fosilífera. La estratificación está enmarcada por los cambios litológicos y es frecuentemente lenticular. Colores crema, blancuzco y grisáceo en los horizontes carbonáticos y grisáceo y verdoso en los terrígenos.

Edad: Oligoceno Superior - Mioceno Superior basal.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente sublitoral limitado y en áreas lagunares de circulación restringida, señaladas éstas por la asociación *Ammonia* - Ostrácodos y la presencia de yeso, halita, piritita y lignito en sedimentos arcillosos.

Espesor: Oscila entre 30 y 1 640 m (este último en el pozo Candelaria 1 e incluye al Mbro. Baños).

Formación Güines (gn)

Distribución geográfica: Se desarrolla en las provincias de Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus y Ciego de Avila.

Litología diagnóstica: Calizas biodetríticas de grano fino a medio, fosilíferas, calizas biohémicas, calizas dolomíticas, dolomitas, calizas micríticas sacaroidales y lentes ocasionales de margas calcáreas y calcarenitas. La dolomitización es secundaria. Son por lo general masivas, más raramente estratificadas. Coloración blanca, amarillenta, crema o gris.

Edad: Mioceno Inferior parte alta- Mioceno Superior parte basal.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente sublitoral con muy poca influencia arrecifal.

Espesor: Oscila entre 50 y 1670 m.

Formación Jaruco (jr)

Distribución geográfica: Se desarrolla en forma de parches irregulares en la parte norte y central de la provincia de La Habana y en la occidental de la provincia de Matanzas.

Litología diagnóstica: Calizas biodetríticas arcillosas frecuentemente con grandes *Lepidocyclina*, interestratificadas con margas. Subordinadamente se observan calizas arrecifales, calciruditas y calcarenitas. Los colores predominantes son el blanco, crema y gris.

Edad: Oligoceno Superior parte alta- Mioceno Inferior.

Ambiente de sedimentación: De arrecifal a infralitoral.

Espesor: Oscila entre los 60 y 240 m.

Observaciones: Algunos autores atribuyen a esta formación el conglomerado basal, expuesto al W de Punta Negro en la Bahía de Orozco, provincia de Pinar del Río, cuyos clastos se componen de tobas, lavas, calizas y areniscas redondeadas y angulosas, procedentes de formaciones del Cretácico, lo que no está suficientemente argumentado.

Formación Capdevila (cp)

Distribución geográfica: Sus depósitos tienen un buen desarrollo en las provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana y La Habana.

Litología diagnóstica: Areniscas, limolitas, arcillas, gravelitas, calcarenitas, margas, calizas, grauvacas y conglomerados. Sus depósitos están bien estratificados.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones Apolo, La Majagua y Madruga y discordantemente sobre las formaciones Martín Mesa, Los Negros, Orozco y Vía Blanca. Está cubierta discordantemente por las formaciones Cojímar, Consuelo, Colón, Guanajay, Guane, Loma Candela, Nazareno, Paso Real, Punta Brava, Santa María del Rosario, el Gr. Universidad y las capas Urría.

Edad: Eoceno Inferior parte baja.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en aguas profundas, originándose un típico flysch vinculado a movimientos tectónicos periódicos en la fuente de aporte de los sedimentos.

Espesor: Oscila entre 200 y 400 m.

Formación Guasasa (gs)

Distribución geográfica: Se desarrolla en la Sierra de los Organos, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnóstica: Calizas micríticas, calcarenitas, lentes de pedernales. Las calizas a veces son granulares y frecuentemente laminadas.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre el Mbro. Pimienta (Fm. Jagua). Está cubierta discordantemente por las formaciones Ancón, Guane, Manacas y Pons. En algunas regiones contacta tectónicamente con la Fm. Arroyo Cangre.

Correlación: Es correlacionable, en parte, cronoestratigráficamente con las formaciones Artemisa, Polier y el Gr. Buenavista de Cuba Occidental.

Edad: Jurásico Superior (Oxfordiano Superior)- Cretácico Inferior (Valanginiano).

Ambiente de sedimentación: Se depositó hasta el Tithoniano Inferior en aguas someras, comenzando después la deposición de sedimentos pelágicos.

Espesor: Oscila entre 300 y 800 m.

Formación Artemisa (at)

Distribución geográfica: Sierra del Rosario y NE de las Alturas de Pizarras del

Norte, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnóstica: Calizas micríticas bien estratificadas en capas finas a medianas, calcilutitas, calcarenitas e intercalaciones de silicitas con radiolarios. En la base aparecen esporádicamente limolitas y areniscas de grano fino.

Edad: Jurásico Superior (Oxfordiano Medio parte media) - Cretácico Inferior (Valanginiano).

Ambiente de sedimentación: Su parte inferior se depositó probablemente en la zona de transición a la batial, predominando la sedimentación carbonática de aguas neríticas. Su parte superior se depositó en un ambiente más profundo, pelágico.

Espesor: Oscila entre 700 y 800 m.

Observaciones: La edad de la parte baja de esta unidad no ha sido datada con precisión, pudiendo llegar, en opinión de algunos investigadores, hasta la parte más alta del Oxfordiano Medio.

Grupo Universidad (un)

Distribución geográfica: Se desarrolla al S de la cordillera de Guaniguanico, provincia de Pinar del Río; en las regiones de Cabañas, Mariel, al E de la playa de Jibacoa, provincia de La Habana; Marianao, Vedado, provincia de Ciudad de La Habana, Valle de Yumurí, W de la localidad Chirino y en el tejero Santa Isabel, provincia de Matanzas.

Litología diagnóstica: Margas, calizas arcillosas, argilitas silíceas, nódulos de pedernales, calizas arcillosas silicificadas, calizas organógenas y en algunos de sus cortes presentan conglomerados basales de fragmentos pequeños de matriz areno-arcillosa polimíctica.

Edad: Eoceno Inferior parte alta - Eoceno Medio parte baja.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente batial.

Espesor: 50 m, en ocasiones mayor.

Formación Polier (pl)

Distribución geográfica: Se desarrolla en la Sierra del Rosario, provincia de Pinar del Río.

Litología diagnóstica: Calizas micríticas, calizas margosas, areniscas cuarcíferas, esquistos calcáneos y argilitas calcáneas.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre el Mbro. Sumidero (Fm. Artemisa). Está cubierta concordantemente por la Fm. Santa Teresa.

Edad: Cretácico Inferior (Valanginiano- Albiano) ?.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente pelágico con influencia importante de las corrientes de turbidez.

Espesor: 300 m.

Formación Guane (gne)

Distribución geográfica: Se desarrolla por el borde Norte de la llanura meridional de la provincia de Pinar del Río. También se ha observado al Norte de la ciénaga de Lanier, Isla de la Juventud.

Litología diagnóstica: Arenas silíceas, arcillas arenosas, gravas (angulosas y subangulosas) débilmente cementadas por arcillas. Presentan sus depósitos estratificación indefinida lenticular y más raramente cruzada. En su parte alta contiene concreciones ferruginosas y hardpan. Colores abigarrados.

Relaciones estratigráficas: Yace transgresivamente sobre las formaciones Agua Santa, Cañada, Capdevila, Esperanza, Guasasa, Manacas, Paso Real y San Cayetano. Está cubierta discordantemente por las formaciones Cayo Piedras (Mbro. Santa Isabel), Guevara y Villaroja. Lateralmente transiciona con la Fm. Punta del Este.

Edad: De acuerdo a su posición estratigráfica se le ha asignado una edad Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente aluvio- marino.

Espesor: Según datos de perforaciones puede alcanzar hasta 50 m.

Observaciones: La ausencia de fósiles marinos hace suponer a algunos autores un origen continental, constituyendo con toda probabilidad cortezas de intemperismo redepositadas por las corrientes.

Grupo Mariel (ml)

Distribución geográfica: Tiene un buen desarrollo en las provincias de Pinar del Río, Ciudad de La Habana y La Habana.

Litología diagnóstica: Calizas organógenas y arenosas, areniscas polimícticas, limolitas, argilitas, arcillas, gravelitas polimícticas, conglomerados polimícticos,

calcilutitas, grauvas calcáreas y calcarenitas.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Los Negros, Orozco, Peñalver y Vía Blanca. Está cubierta discordantemente por las formaciones Cojímar, Consuelo, Guanajay, Jabaco, Loma Candela, Nazareno, Santa María del Rosario, el Gr. Universidad y la unidad informal capas Urría.

Edad: Paleoceno- Eoceno Inferior parte baja.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente marino fluctuante, de cuenca abierta, con sedimentación de tipo flysch.

Espesor: Oscila entre 35 y 600 m.

Observaciones: G. Furrázola- Bermúdez *et al.* (1978) reúne en el Gr. Madruga las formaciones Mercedes, Apolo, Alkazar (en orden cronológico), todas paleocénicas, con una litología y origen muy similar.

Formación Santa Teresa (st)

Distribución geográfica: Se desarrolla en forma de fajas muy plegadas y dislocadas en la Sierra del Rosario (provincia de Pinar del Río) y al N de las provincias de Villa Clara y Camagüey.

Litología diagnóstica: Silicitas cuarzo calcedónicas radioláricas, argilitas silíceas, arcillas, limolitas, calizas y margas.

Relaciones estratigráficas: Yace concordantemente sobre las formaciones Esperanza, Polier (parte indiferenciada y su Mbro. El Roble), Veloz y el Gr. Viñales (Mbro. Sumidero de la Fm. Artemisa). Está cubierta concordantemente por las formaciones Carmita y Pinalilla y transgresivamente por las formaciones Amaro, Arabos, Cacarajícara, Paso Real, Ranchuelo y la unidad informal olistos

Edad: Cretácico Inferior (Aptiano)- Cretácico Superior (Cenomaniano).

Ambiente de sedimentación: Se depositó en una cuenca de aguas marinas profundas.

Espesor: Oscila entre 40 y 200 m.

Formación Guevara (gv)

Distribución geográfica: Se desarrolla en la parte baja de las llanuras meridionales de las provincias de Pinar del Río, La Habana, Matanzas y Cienfuegos.

Litología diagnóstica: Arcillas plásticas (montmorilloníticas y montmorillonito-

caoliníticas), arenas silíceas, gravas finas, fragmentos de corazas ferríticas (hardpan). Presenta alto contenido de pisolitas y nódulos ferríticos. La estratificación es indefinida, paralela. Su coloración es variable, abigarrada.

Relaciones estratigráficas: Yace discordantemente sobre las formaciones Arabos, Carmita, Cojímar, Colón, Guane, Güines, Jaimanitas, Paso Real, Trocha, Vedado, Veloz y el Gr. Remedios. Está cubierta discordantemente por la Fm. Villaroja.

Edad: Por su posición estratigráfica se le ha asignado una edad Pleistoceno Inferior - Medio.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en un ambiente marino.

Espesor: No excede los 50 m.

Observaciones: Algunos autores consideran que esta unidad yace concordantemente, al menos en parte, sobre la Fm. Guane y que corresponde a depósitos aluviales, al menos parcialmente, depositados en la parte baja de los valles, basándose en la ausencia de fósiles marinos.

Depósitos aluviales - marinos (am Q₃₋₄).

Estos sedimentos se encuentran distribuidos a todo lo largo de la llanura costera sur. Del resultado del informe de Barrios et. al (1988) la describen dentro de los límites de la terraza fluvio-marina abrasiva acumulativa con predominio de la acumulación (de edad Q_{IV}) que se extiende en forma de franja, en un relieve completamente plano poco diseccionado con altura de hasta cinco metros, con ancho que oscila entre dos y cuatro kilómetros.

Están representados por arenas de grano muy fino en ocasiones arcillosas y arcillas arenosas. Todo de colores muy oscuros (pardo - gris), con gravas de cuarzo oxidadas y perdigones. Su espesor es variable, oscilando entre 0.3 – 6 metros. Se encuentran también representadas por arenas arcillosas de grano muy fino (polvillo) de color pardo oscuro amarillento con manchas de color gris claro, además presentan en su interior dispersos fragmentos oxidados de areniscas cuarzosas de diámetro 1 centímetro y pequeñas gravas de cuarzo. Su espesor va de 0.70 - 6 metros y se encuentra sobreyaciendo secuencias arcillosas de la Formación Guevara.

Depósitos aluviales del Pleistoceno Superior al Holoceno (al Q4).

Descritos por Barrios et. al (1988). Ocupan las primeras terrazas de los ríos presentes en el área. Están representados fundamentalmente por arenas, arenas arcillosas y arcillas arenosas de color carmelita pardusco con manchas rojizas y grises, con intercalaciones de gravas y guijarros pequeños de cuarzo, fragmentos de areniscas cuarzosas, concreciones ferruginosas y localmente sedimentos carbonatados con fragmentos de calizas organógenas arcillosas. Su espesor varía de 1 hasta 5 m. La composición de los clastos está en dependencia directa de la composición de la roca que forma el borde del valle, y su granulometría se asocia a la cercanía de la desembocadura, pues a medida que avanza hacia el Sur sus sedimentos son más finos.

Sedimentos de Mangles (bm-Q_{IV}).

Se asocian solamente a las zonas costeras. Arcillas arenosas limosas de color gris oscuro azulado, con gran cantidad de restos de flora y fauna (conchas).

II.3. Tectónica.

Debido a que el área de estudio se encuentra enmarcada en la parte sur de la provincia, se puede plantear que no presenta gran desarrollo de la actividad tectónica como ocurre al norte de la falla Pinar. La tectónica de la región corresponde al período platafórmico predominando los movimientos verticales en bloques.

II.4. Magmatismo.

En la zona de estudio no hay manifestaciones de actividades magmáticas.

II.5. Suelos.

Los suelos de la región de estudio se pueden clasificar como suelos con drenaje eficiente, divididos en dos grupos: los hidromórficos de capa freática y los que presentan hidromorfía superficial. Entre los primeros existe el tipo pantanoso, vinculado a los manglares y el gley amarillento cuarcítico típico.

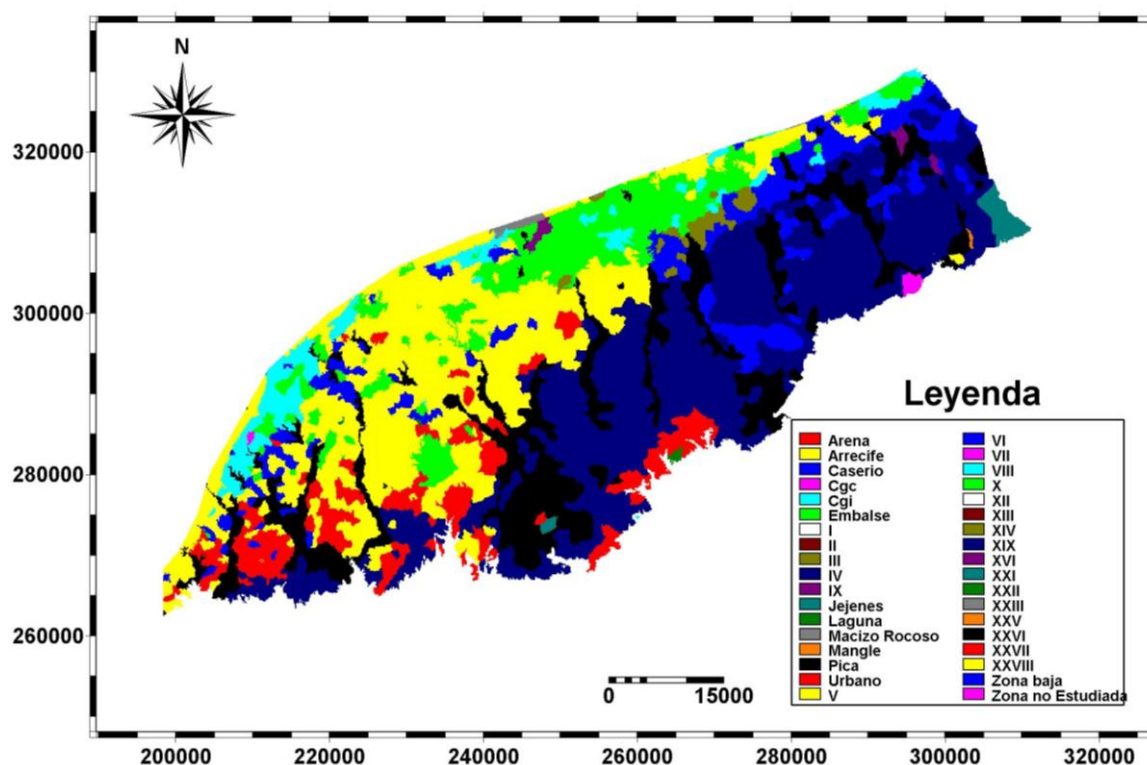


Figura II.3- Mapa de suelos del área de estudio.

II.6. Principales yacimientos minerales, concesiones y prospectos.

En la zona de estudio se han revelado y explorado un número significativo de yacimientos de arena para la construcción:, La Tea, Sabanas Párragas, Naranjal , Las Llanadas etc. También existen pequeñas areneras de antigua explotación (Anexo 2). En región de estudio se conocen yacimientos minerales no metálicos de diferentes materias primas: arena para la construcción, arcilla y carbonatos para la agricultura.

Los yacimientos de arena para la construcción pertenecen a dos tipos genéticos, el primero, de origen aluvial, lo constituyen los sedimentos fluviales de cauces, terrazas y llanuras de inundación de los ríos actuales (Q_{IV}). Estos depósitos tradicionalmente se han a considerado como poco favorables, dado lo limitado de sus recursos y su extracción ha sido artesanal y con muy pocas investigaciones geológicas. Su importancia se ha incrementado en la medida que se agotan los depósitos del otro tipo. Los segundos de origen aluvial, aluvial-marino, son las arenas de variada granulometría que fueron depositadas por antiguos procesos fluviales durante el pleistoceno y que presentan cantidades significativas de arcilla

en su composición. Están asociados con los sedimentos de la formación Guane y en menor medida con Guevara.

Por otra parte, abundan los yacimientos de arcilla evaluados para cerámica roja, arcilla refractaria y en menor medida para producir cerámica blanca. Entre los principales yacimientos se encuentran la Conchita, Moja Hueva, La Coloma, Club de Cazadores, Consolación y Bermejales. Estos depósitos por su origen se asocian a los sedimentos aluviales actuales en las terrazas fluviales o a los depósitos arcillo –arenosos de la formación Guane.

También en el área se localiza el yacimiento de calizas San Juan evaluado como fuente de carbonato para la agricultura. El mismo está asociado a las rocas de la fm. Paso Real.

II.7. Dinámica fluvial.

Los ríos tienen importancia en muchos aspectos: como fuente principal de suministro del agua, como proveedor básico para el riego y la anegación de los campos de cultivo, como vía de comunicación cómoda y económica, como fuente de energía barata y abundante, según (Gorshkov y Yakushova, 1970). Por tanto a nivel mundial los depósitos aluviales, formados por la actividad de los ríos, aportan un porcentaje considerable de los agregados naturales que se emplean en la industria de la construcción. El carácter de cada río está determinado por los siguientes factores principales: volumen de agua o caudal, nivel del agua, velocidad de la corriente. Estos factores no permanecen constantes, sino que varían según las estaciones del año. Las variaciones de estas características constituyen el régimen del río. El caudal y el nivel del agua fluctúan de acuerdo al origen o alimentación del río y sus variaciones en el tiempo. Los ríos deben su origen a las aguas superficiales y subterráneas, estos constituyen los agentes más importantes para el transporte de material meteorizado desde las zonas elevadas a las bajas y de los continentes a los océanos.

Los ríos de acuerdo con la estructura por la cuál drenan según (Lamadrid y Orta, 1977) se pueden clasificar genésicamente en:

- **Consecuentes o Cataclinales:** son aquellos que drenan el área siguiendo el buzamiento de las capas.
- **Subsecuentes u Ortoclinales:** los mismos drenan perpendicularmente a los consecuentes; y corren siguiendo las capas de rocas más débiles.
- **Obsecuentes o Anaclinales:** estos son subafluentes de los subsecuentes; drenando en sentido opuesto al buzamiento de las capas.
- **Resecuentes:** son ríos de curso poco extensos corren siguiendo el declive general de la región y desembocan en ríos subsecuentes.
- **Antecedentes:** se le nombran a las líneas de drenaje que se establecen antes del levantamiento tectónico manteniendo su dirección durante el levantamiento.
- **Sobreimpuestos:** son líneas de drenaje estabilizados independientemente de la estructura subyacente que cortan.
- **Alóctonos:** son ríos los cuales drenan un área de litología diferente de aquella en la que nacen.

Los mismos autores consideran como **nivel de base** de un río, el nivel de la cuenca de recepción en que desemboca un río. Este nivel constituye uno de los límites que determinan el gradiente de un río y por ende su energía cinética. El desarrollo del río se opera desde el nivel de base, pendiente arriba siguiendo la ley de la erosión retrocedente o remóntate. Siendo uniforme la pendiente de la superficie, la intensidad de los procesos erosivos se determinará por el caudal de agua en los tramos correspondientes del río. La fase inicial de la formación y desarrollo de un río se caracteriza por el predominio de los procesos erosivos y estos pueden ser verticales, horizontales o regresivos.

La **erosión vertical** es aquel proceso que profundiza el corte; origina el desmembramiento vertical del relieve y determina las categorías de este. Se manifiesta sobre todo en el curso superior del río y origina diversas rupturas de pendientes tales como: rápidos, saltos y cascadas.

El **perfil longitudinal** de un río muestra como éste va perdiendo cota a lo largo de su recorrido, en él se puede observar la pendiente de cada tramo. Los perfiles longitudinales de los ríos suelen presentar forma cóncava, su pendiente disminuye desde las zonas más erosivas (zonas de cabecera), a las zonas donde

predomina la sedimentación (zonas de desembocadura o bajas). Como resultado final en cuanto a velocidad de la corriente en este tipo de perfiles esta será casi nula y los procesos erosivos perderán intensidad.

La **erosión horizontal** la realizan las aguas del río y provocan ensanchamiento del cauce, del valle y meandricidades y la **erosión regresiva** provoca un retroceso del nacimiento del río, en sentido opuesto a la dirección de la pendiente, esto da lugar a las llamadas capturas y se manifiesta en el relieve como codos de captura.

Derruau (1970), expone dos tipos principales de capturas: captura por retroceso de la cabecera y las capturas por derrame.

Las **capturas por retroceso** de la cabecera consisten en la erosión retrograda de un tributario del afluente principal, el cuál socava en dirección opuesta a la pendiente buscando el afluente del curso superior el cuál lo intercepta y lo decapita.

La **capturas por derrame** se manifiestan en la presencia de dos corrientes en la misma disposición que el caso anterior, si la corriente de uno está por debajo de su perfil de equilibrio (aunque este por encima de la otra corriente) y la misma reciba una carga anualmente fuerte que le llega de aguas arriba, eleva su lecho y puede colmatar su valle, posteriormente se derrama hacia la cuenca donde está la otra corriente y esta consolida un nuevo curso.

Lamadrid y Horta (1977), identifican a los aluvios o aluviones como todo el material que el río transporta y deposita, y sus formas de acumulación son las barras marginales (point bar); la llanura de inundación; el abanico aluvial; las terrazas aluviales; los deltas, etc.

Las **barras marginales (point bar)**, las definen como acumulaciones de sedimentos o detritos que son erosionados en la orilla cóncava del meandro y producto a las corrientes de fondo son depositados en la convexa.

El curso de un río, frecuentemente, cambia por influencias de sus tributarios que traen materias a su desembocadura y forman **conos aluviales o abanicos aluviales** que asumen la configuración de una península o una isla. El agua corre entre estos **conos aluviales** en busca de una salida lateral, si la materia es abundante y la riada no puede llevársela, el río se vuelve hacia la ribera opuesta; penetrándola por erosión y formando así una curva.

Los autores mencionados anteriormente, exponen una clasificación de las

terrazas aluviales en: **terrazas de acumulación**, **terrazas de erosión** y **las terrazas compuestas**. El origen de estas terrazas puede estar relacionado con movimientos neotectónicos de la corteza terrestre que han alterado el perfil, con aumento o disminución del caudal del río, a causa de los cambios climáticos o de la cantidad de material detrítico aportado por el mismo.

Las **terrazas de acumulación** se identifican como depósitos escalonados a ambos lados del actual cauce del río, cada escalón se corresponde con una época en la cual predominó la acumulación. Las **terrazas de erosión** presentan una pendiente constituida por rocas vivas; sin aluvios en su superficie, lo cual generalmente indica un predominio de los procesos erosivos del río. Las **terrazas compuestas** presentan las pendientes constituidas por rocas vivas y las superficies cubiertas por aluvios; corresponden a periodos combinados de predominio de la erosión y de la acumulación y los **deltas** (otra forma de acumulación fluvial), se originan en la desembocadura del río, bajo diferentes condiciones tanto física, química y mecánica.

En toda la región de estudio pero de carácter regional se manifiesta la presencia de torrentes, que no son más que corrientes de agua con régimen ocasional, pendiente fuerte y que trabajan en materiales fáciles de excavar. Un torrente completo se divide en tres partes:

Según Derruau (1970), la **cuenca de recepción** es la zona donde, por concentración de las aguas se forma el torrente, predomina la excavación sobre las otras formas de la erosión fluvial y el torrente se carga de materiales arrancados y se transforma en un río fangoso de gran velocidad. Y constituye el curso superior.

El **canal de desagüe** es el lecho del río donde la erosión y la acumulación corren a la par, ya que la corriente a veces decreciente abandona bloques y materiales finos, que se acumulan dentro de los bloques. Y este corresponde al curso medio y el **cono de deyección** se manifiesta cuando el torrente llega al valle principal donde termina su curso. Corresponde a la zona inferior.

Los ríos atendiendo al patrón del cauce o canal se clasifican en dos grandes grupos: Ríos de cauce sencillos (rectilíneos o meandriformes) y de cauces múltiples (ramificados (anabranch) y trenzados (braided)). Los ríos rectilíneos y meandriformes se describen por la sinuosidad (P), que no es más que la razón entre la longitud del cauce y la longitud del valle ($P = L_c/L_v$).

Las **corrientes fluviales rectilíneas**, presentan cauce y canal único, con índice de sinuosidad muy bajo (menor de 1,5) y una relación anchura-profundidad que suele ser menor de 4. Transportan carga en suspensión, de fondo y mixta. Son corrientes con alta energía, propias de zonas con pendientes longitudinales elevadas, y gran capacidad para el arranque y arrastre de material; también muy inestables, ya que tienden a desaparecer pasando a otro tipo. Por su alta energía y capacidad de excavación-arrastre, suelen generar sobreexcavaciones o encajamientos y raramente llanuras aluviales; en los casos más favorables, aparecen acumulaciones marginales (barras) que condicionan y dirigen el flujo, dando lugar a una sinuosidad controlada por pozas y vados.

A escala geológica desarrollan un proceso de sedimentación por retrorrelleno (backfilling) debido a variaciones del nivel de base, y sus efectos se propagan aguas arriba por la acreción de grandes cuerpos deposicionales, dando lugar a cordones sedimentarios con granulometría variada

Las **corrientes fluviales meandriiformes**, son de cauce y canal únicos, con índice de sinuosidad mayor de 1.5. El canal está encajado en su cauce sin apenas depósito, o divaga sobre el mismo formando una gran llanura aluvial. En general corresponden a ríos con pendientes longitudinales escasas y abundante carga en suspensión o mixta, aunque la de fondo suele ser inferior al 11% del total transportado. Frente al carácter eminentemente erosivo en rectilíneos y sedimentario de los múltiples, éstos deben calificarse como erosivo-sedimentarios.

La unidad geométrica en corrientes meandriiformes es el meandro: curva completa sobre el canal, compuesta por dos arcos (bends) sucesivos.

Las llanuras aluviales en este tipo de ríos forman una banda irregular a ambos lados del canal siguiendo la dirección del valle y deben su origen a tres procesos asociados: retroceso del escarpe de orilla, acreción en barras marginales, y enlace-coalescencia para los sucesivos cuerpos acrecionales. El retroceso en el escarpe lo regula un zapado sobre la margen externa del meandro, que condiciona la pérdida de sustentación y la caída de material por gravedad. La acreción está asociada al retroceso del escarpe: cada arco erosiona y zapa su margen externa, transporta el material, y lo deposita en la margen interna del arco sucesivo inmediato. Esto provoca el crecimiento de barras semilunares o point bars hacia la zona externa, lo cual marca en la orilla interna una serie de surcos-crestas (scrolls) sucesivos.

La coalescencia entre barras semilunares, que produce el relleno en la llanura por desplazamiento continuo de los distintos arcos, está más o menos condicionada por causas climáticas. A este proceso sistemático, deben unírsele los derivados de estrangulamientos o cortes (neck cut-off) y acortamientos (chute cut-off), donde el río recupera un antiguo trazado entre dos crestas; en ambos casos dan lugar a meandros abandonados, que actúan como lagunas semilunares efímeras (oxbow lakes, galachos o bancos) en los sucesivos desbordamientos, hasta quedar rellenos por material fino.

Caudales excepcionales con desbordamientos que inundan toda la llanura y originan flujos secundarios, hacen recrecer las márgenes del canal formando los diques naturales (albardones o levées). Aunque éstos son posteriormente fijados por la vegetación, otras crecidas de menor caudal pueden ocasionar su rotura, inundando las márgenes mediante conos de desbordamiento o derrame (**crevasse splay**). En ambos casos, una vez descargan el material más grueso cerca del canal, las aguas se reparten por la llanura formando encharcamientos con baja velocidad de flujo, lo que provoca decantación de finos sobre la llanura inundable.

El conjunto sedimentario en estos ríos está formado por los siguientes materiales, según su granulometría y génesis: grueso en la carga de fondo (lag); medio en diques naturales de las márgenes y conos de derrame; fino procedente de desbordamientos, inundaciones en la llanura y relleno de canales; y granulometrías variables para las barras semilunares.

El recrecimiento de diques naturales sobre las márgenes del canal y la sedimentación en su lecho (barras), pueden elevar el nivel del agua superando la cota media topográfica de su llanura inundable. Ello facilita que en episodios de crecida o con roturas puntuales de los levées, el río cambie su trazado hacia cotas más bajas en la llanura. Este fenómeno, denominado **avulsión**, es característico en corrientes con extensas llanuras aluviales de muy escasa pendiente y frecuentes crecidas; por lo general, coincide con tramos cercanos a su desembocadura.

En un cómputo global, los ríos rectilíneos aparecen como los más inestables, con alta energía y capacidad para la excavación; por ello su permanencia es escasa. Una pérdida energética, normalmente hace que comiencen a desarrollar sinuosidades ajustando su dinámica a un proceso mixto erosivo-sedimentario. Al

mismo tiempo, el exceso en la carga los conduce a sobrepasar sus límites de capacidad y competencia, formando múltiples canales o láminas, que generan grandes acumulaciones sedimentarias.

Estos postulados básicos son discutidos por muchos autores, al considerar que las transformaciones se deben también a otros factores (tectónicos, evolutivos, e incluso granulométricos), determinando cambios importantes en estas corrientes.

Corrientes fluviales múltiples: trenzados (braided) y anastomosados.

A nivel general, braided y anastomosados son ríos con canales-láminas de agua múltiples, en lazos o trenzas de variada sinuosidad; Rust (1978) establece para los primeros una sinuosidad menor de 1,3 y para los segundos mayor de 1.5. Los ríos trenzados contienen barras e islas en su cauce, mientras que los anastomosados. Ambos tipos de ríos quedan caracterizados por su alta capacidad de carga-sedimentación, formando grandes llanuras aluviales y rellenos de cuencas. Son fenómenos debidos al solape-coalescencia de barras o médanos aluvionares (llamadas “de braided” o “de canal”), tanto marginales como interiores a la corriente y longitudinales o transversales. Su funcionamiento equivale al de cualquier corriente sinuosa, es decir: erosión en un flanco y sedimentación en el opuesto de cada lazo o trenza.

Estas corrientes transportan fundamentalmente carga de fondo, siendo su relación anchura-profundidad mayor de 4 y, en determinadas cuencas (básicamente las de pie de monte generadoras de abanicos aluviales), pueden estar asociadas en el espacio y tiempo. Las braided presentan mayor encauzamiento y alta competencia, con carga de granulometría gruesa o muy gruesa (grava y bloques), llegando a arrastrar grandes bloques. Las anastomosadas son efímeras, con marcada estacionalidad o avenidas excepcionales y la carga suele ser de granulometría media (grava y arena).

Toda red fluvial está concernida o constituida por diferentes cuencas las cuales son abastecidas por determinados cauces.

Se entiende por **cuenca hidrográfica** o **cuenca de drenaje**, el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamadas divisorias de agua. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente

separando el territorio por cuencas hidrográficas.

Las cuencas presentan determinadas características como: curva cota superficie, coeficiente de forma, coeficiente de ramificación. También se dividen en **cuenca alta, cuenca media y cuenca baja**.

Inestabilidad y migración del cauce

Como los cauces aluviales se forman en sedimentos erosionables y la fuerza ejercida por la corriente de agua supera la resistencia de los sedimentos que forman el lecho y las márgenes del cauce del río, estos puede migrar de forma natural con el tiempo. La figura muestra 6 tipos de cambios naturales del cauce.

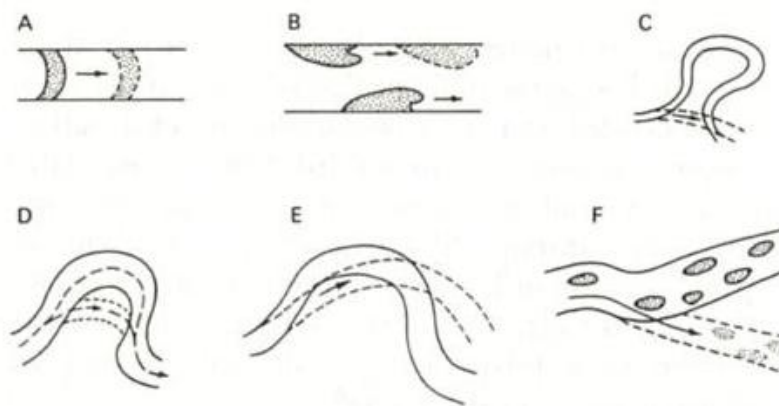


Figura II.4- Cambios naturales del cauce: a) barras transversales, b) desplazamiento de barras marginales c) Estrangulamientos (neck cutoff) d) acortamientos (chute cut-off) e) desplazamiento del meandro.

Según Merle Parvis (1949), la configuración del drenaje es la manera o disposición con que una serie de corrientes tributarias se acomodan entre ellas mismas dentro de una cuenca de drenaje dada.

Varios autores hicieron un consenso en cuanto a concepto del análisis o configuración del drenaje, dividiéndolas en dos grupos principales: Configuraciones Naturales y Artificiales, este primer grupo se subdivide en regulares u ordenadas e irregulares o desordenadas, dentro de las primeras se encuentran dendrítica, enrejada, paralela, radial, anular, trenzada etc., en el otro subgrupo están las configuraciones de tipo anastomosada, reticular, lagunar etc.

Capítulo III. Metodología de las Investigaciones.

La metodología empleada en este trabajo fue seleccionada sobre la base de los objetivos trazados inicialmente, las características geológicas del área y de los yacimientos existentes y finalmente la información disponible.

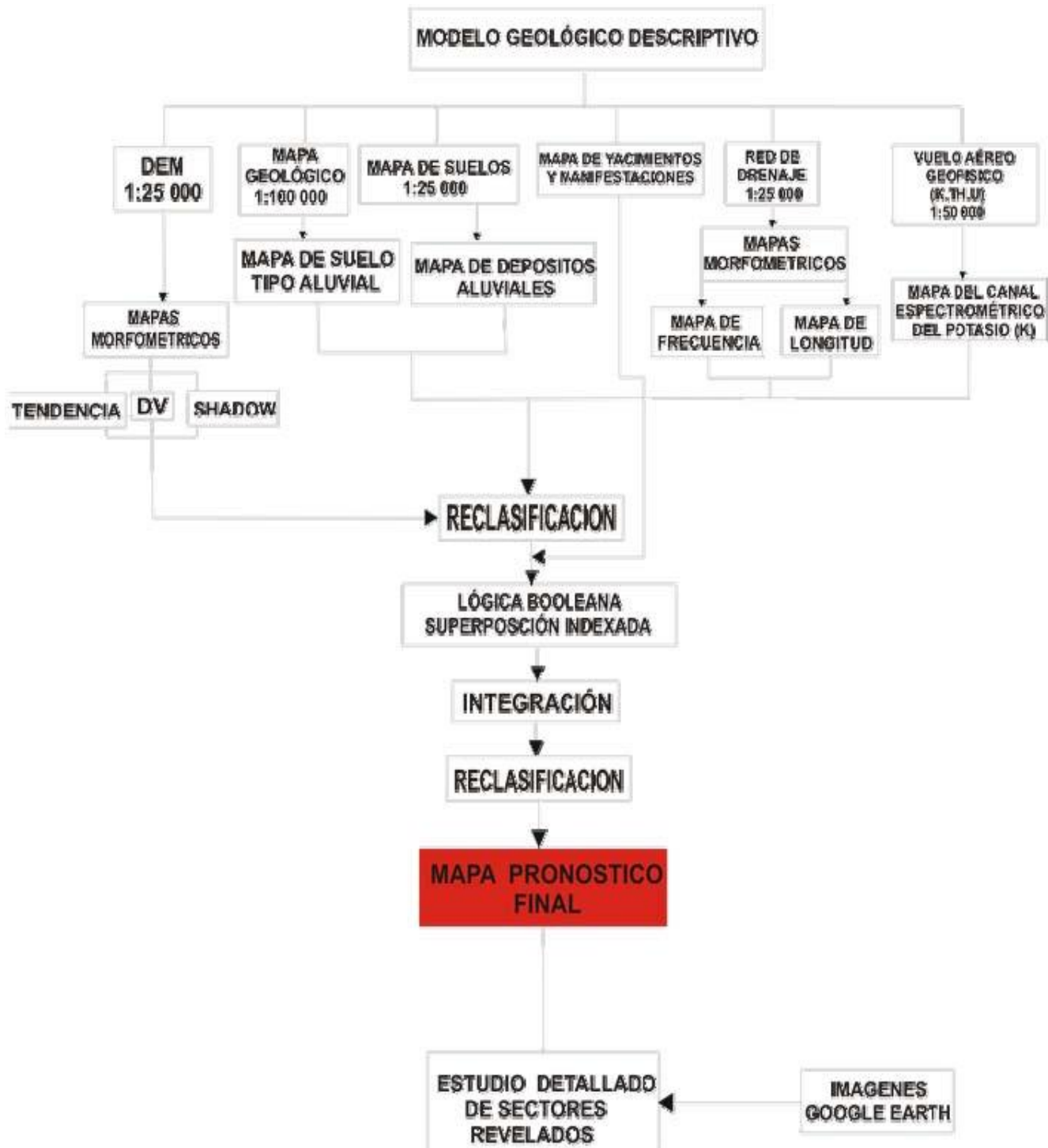


Figura III.1- Diagrama de flujo.

El diagrama de flujo empleado en esta investigación se presenta en la Figura III.1, mientras que las distintas etapas del trabajo se describen a lo largo de este capítulo. La investigación se dividió en las siguientes fases:

1. Revisión bibliográfica sobre el tema.
2. Tipificación de los depósitos y selección del modelo geológico.
3. Captura de datos.
 - Digitalización de la red de drenaje de la Llanura Sur de Pinar del Río 1: 25 000.
 - Recopilación de las bases de datos digitales con la información de los yacimientos existentes, manifestaciones conocidas en la región, y concesiones mineras.
 - Importación al software ILWIS 3.4 de los mapas relevantes: mapa geológico, mapa de suelo, mapa de frecuencia, mapa espectrométrico y red hidrográfica.
4. Procesamiento de datos.
 - Derivación de mapas morfométricos a partir del DEM.
 - Derivación de mapas morfométricos a partir de la red de drenaje 1: 25 000.
 - Procesamiento del canal espectrométrico del potasio (%).
 - Procesamiento digital de imágenes de Google Earth (georeferenciación, digitalización de formas deposicionales).
5. Integración y análisis.
 - Lógica booleana (etapa 1)
 - Superposición indexada (etapa 2 y 3)
 - Mapa pronóstico de depósitos de arena y grava para la construcción.
6. Análisis del drenaje.

III.1. Revisión bibliográfica sobre el tema.

Durante esta etapa se revisaron todos los informes de los trabajos ejecutados en la zona de estudio que se encuentran disponibles en el archivo provincial, así como diversos artículos científicos relacionados con el tema. Colateralmente se consultaron estudios de pronóstico de distintas materias primas realizadas por autores nacionales y extranjeros, presentadas en Congresos, Convenciones y revistas especializadas.

III.2. Modelo Geológico Conceptual.

Los modelos de yacimientos minerales son herramientas para determinar la probabilidad que depósitos con cierto volumen, área y otras características existentes en una región dada. Ellos se definen como un conjunto sistemático de información que describe los atributos esenciales o propiedades de una clase de yacimientos minerales (Bliss, 1993).

Los modelos pueden ser empíricos (descriptivos), cuando no se conoce la relación que existe entre los distintos atributos o teóricos cuando se conoce la relación entre los principales parámetros de los depósitos (Singer y Cox, 1988).

En la cartografía del potencial mineral empleando tecnología SIG, los modelos descriptivos de yacimientos minerales juegan un papel fundamental en la selección y derivación de los mapas predictores del tipo de yacimiento buscado y en la asignación de los pesos a los mapas escogidos (Bonhan-Carter, 1997).

Bliss (1995), considera que los modelos descriptivos para depósitos de arena y grava (agregados) están aún por desarrollar y que la creación de estos constituirá una actividad futura muy importante. Los modelos según el mismo autor probablemente se fundamentarán en la geomorfología, las rocas de caja, las formas y ambientes sedimentarios.

A diferencia de los yacimientos metálicos y de un número determinado de minerales industriales para los cuales existen modelos descriptivos bien establecidos, para los depósitos de grava y arena no se registran modelos suficientemente formalizados que faciliten el pronóstico. Esto complica la selección y ponderación de la información relevante.

Mederos et al. (2009), propone un Modelo Geológico Descriptivo para los depósitos de grava y arena en cauces abandonados en la llanura sur de Pinar del Río, el cual se describe a continuación.

IDENTIFICACION DEL MODELO PROPUESTO

Nombre: Depósitos de arena en Paleocauces tipo Llanura Sur de Pinar del Río

Mineral útil: Arena para construcción

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Ambiente geológico:

➤ Descripción global de los depósitos: Depósitos arenosos aluviales, alojados en

los canales o cauces abandonados (o en sus bancos laterales inmediatos asociados a zonas de deposición en meandros pronunciados) por los principales ríos que surcan la Llanura Sur de Pinar del Río. No siempre los paleocauces presentan una buena expresión superficial.

- Tectónica: En lo que a la composición del mineral útil se refiere, carece de importancia, pues los depósitos de arena dependen de la energía de la corriente y por supuesto de la composición de la fuente de aporte. No obstante su papel debe haber sido preponderante en la formación de los paleocauces como tales, producto de los movimientos oscilatorios post-orogénicos que caracterizaron al occidente cubano a partir del Plioceno.
- Ubicación geológica y ambiente de deposición: El material terrígeno erosionado en las regiones elevadas de la cordillera fue transportado por las corrientes fluviales y depositado tanto en los propios cauces como en forma de bancos laterales (en las llanuras inundación), en dependencia de la carga y energía de la corriente en cada riada. Una vez abandonados los cauces, parte de los depósitos de las llanuras de inundación debieron ser erosionados y conjuntamente con material arcilloso procedente del mismo entorno, contribuyeron a sepultar las acumulaciones de arena en el fondo de los mencionados cauces.
- Edad de la Mineralización: Cuaternario (Pleistoceno Inferior – Superior).
- Rocas de caja: Los depósitos se asocian espacialmente a los cauces de los ríos abandonados, y estos han cavado su canal cortando las rocas poco consolidadas de las Formaciones Guevara y Guane, así como de la subyacente Formación Paso Real. La interrelación del mineral útil con las mismas es pobre o nula.
- Índice para la localización de los paleocauces: A pequeña escala (fotos y planchetas topográficas) es fundamental el comportamiento anómalo de corrientes fluviales, tales como y invertidas o bifurcaciones, tramos paralelos a corrientes principales, intersecciones, segmentos abandonados, colleras y lagunas alineadas; combinaciones de varias de ellas. A gran escala (detalles) es de suma utilidad el contraste de humedad reflejado en la vegetación herbácea, tenues depresiones del terreno, fluctuaciones en el vigor de las cosechas, etc.

Características de los depósitos:

- Forma: Cuerpos largos, sinuosos y estrechos, de acuerdo a la configuración del cauce. Usualmente no todo el cauce debe estar “cargado”, respondiendo esto a la dinámica normal de un río en su período activo. Potencias variables, desde unos centímetros hasta más de 5m.

Ancho de hasta 15 – 20 m.

- Textura / Estructura: El tamaño y la redondez de las partículas arenosas depende de la energía de la corriente, la distancia a la fuente de aporte y la composición de las rocas erosionadas. La estructura interna de cada depósito depende de la intensidad y la carga de cada riada, pudiendo aparecer alternancias de horizontes con mayor o menor granulometría (incluso arcillas), “estratificación” cruzada, interrupciones bruscas, intercalaciones de material orgánico, etc.
- Composición mineralógica: Variable (cuarzo, pedernales, calizas, etc.), predominando ampliamente el cuarzo, lo cual esta en correspondencia con la composición de las rocas erosionadas (básicamente la Fm San Cayetano).
- Gangas: Principalmente arcilla y guijarros.
- Alteraciones: Carecen de importancia para el tipo de depósito.
- Intemperismo: Carece de importancia el área de los depósitos. Muy importante en la zona de aporte.
- Control del mineral útil: Netamente morfológico (limitado a los cauces abandonados y localmente a su entorno inmediato (bancos laterales en zonas de meandros pronunciados).
- Origen del mineral: Formaciones terrígenas del Terreno Guaniguanico (Formaciones San Cayetano, Manacas y Arroyo Cangre, así como el Grupo Mariel).
- Calidad del mineral: En términos generales los paquetes de arena vistos de forma integral presentan las siguientes características:
- Dimensiones de los depósitos: Variables, en dependencia de la continuidad, ancho y potencia de cada barra arenosa. No comparables areal ni volumétricamente con los típicos depósitos aluviales – marinos, pero de gran importancia para las comunidades cercanas.
- Posibles efectos ambientales causados por la futura explotación. Excavaciones

largas y estrechas, de limitada profundidad (no mayores de 5 ó 6 m). Futuros reservorios de agua para agricultura y ganadería.

A partir de este modelo se identifican 3 criterios fundamentales que pueden ser usados en plataforma (SIG), para el pronóstico regional de este tipo de depósito.

1. Los yacimientos de grava y arena están asociados a los sedimentos aluviales del cuaternario que forman las llanuras de inundación, terrazas, cauces activos y abandonados de los ríos que atraviesan la región de estudio.
2. Estos depósitos se forman en zonas donde predominan los procesos acumulativos, el cauce ha migrado lateralmente dejando en su recorrido meandros abandonados, paleocauces y otras formas deposicionales que contribuyen al amplio desarrollo de la llanura de inundación.
3. Los depósitos aluviales se forman a partir de la erosión de las formaciones terrígenas (Formaciones San Cayetano, Manacas, Arroyo Cangre etc.) que afloran en la cordillera Guaniguanico. La principal fuente de aporte lo constituyen las areniscas cuarzo feldespáticas de grano medio fino de la formación San Cayetano.

Cada uno de estos criterios puede ser directa o indirectamente cartografiado a escala regional. El criterio lito-estratigráfico se obtiene a partir de la reclasificación del mapa geológico y el de suelo.

El segundo criterio se valora indirectamente a través del mapa de disección horizontal o densidad de la red de drenaje. En aquellas áreas donde afloran sedimentos aluviales del cuaternario y poseen alta densidad de la red de drenaje, la probabilidad de que el cauce haya migrado lateralmente es mucho mayor. Las áreas muy diseccionadas pero que coinciden con sectores de carácter erosivo no poseen potencial para este tipo de yacimiento.

Finalmente en los sedimentos aluviales provenientes de las areniscas cuarzo feldespáticas de la formación San Cayetano, están enriquecidos en potasio, lo cual facilita su cartografía a partir de los datos aérea-espectrométricos.

III.3. Captura de datos.

Según Knepper et al. (1994), existe un rango amplio de características que pueden proporcionar información útil sobre la existencia y la distribución de depósitos potenciales de arena y grava asociados a la red fluvial. Entre los más importantes se señalan:

- Formas del relieve.
- Patrones de drenaje.
- Vegetación.
- Tipo de suelo (aluvial).
- Contexto geológico.

Sobre la base de la anterior idea y considerando el modelo de yacimiento aceptado se seleccionó la siguiente información para evaluar la favorabilidad de la zona para hospedar depósitos de arena:

- Hojas cartográficas del área a escala 1: 25 000.
- Mapa geológico en formato digital a escala 1:100 000.
- Mapa de la red de drenaje a escala 1:25 000.
- Mapa espectrométrico del potasio en formato (*.grd.) con (píxel-100m).
- Modelo de elevación digital en formato (*.grd.) con (píxel-25m).
- Datos de exploración de los yacimientos existentes, manifestaciones en la zona y concesiones mineras.

La captura de datos en este trabajo consistió, básicamente, en la digitalización de la red de drenaje de la llanura sur, sobre la base de las planchetas topográficas digitales (1: 25 000), utilizando el software Mapinfo 8.5. Los resultados se guardaron en extensión (.Tab.) y posteriormente exportados un archivo de intercambio (.dxf.).

III.4. Procesamiento de datos.

Los 5 mapas base de la investigación: (geológico, topográfico, mapa de la red de drenaje, espectrométrico del potasio y los yacimientos y manifestaciones conocidas), fueron importados en ILWIS 3.4, para su posterior procesamiento y así poder derivar los mapas de evidencia que representan los distintos factores controladores.

III.4.1 Modelo de elevación digital.

El Modelo Digital del Terreno (DTM), con tamaño de píxel-25m y extensión (.grd) fue importado a Ilwis 3.4. A partir de este se generó el mapa de disección vertical, y el mapa de relieve sombreado.

Este se utilizó como base para superponer otros mapas (mapa geológico y espectrométrico) y de esta forma mejorar la visualización y facilitar la interpretación.

Se puede observar que aparecen varios escalones geomorfológicos, identificados a partir de la visualización del mapa, representados por las líneas rojas.

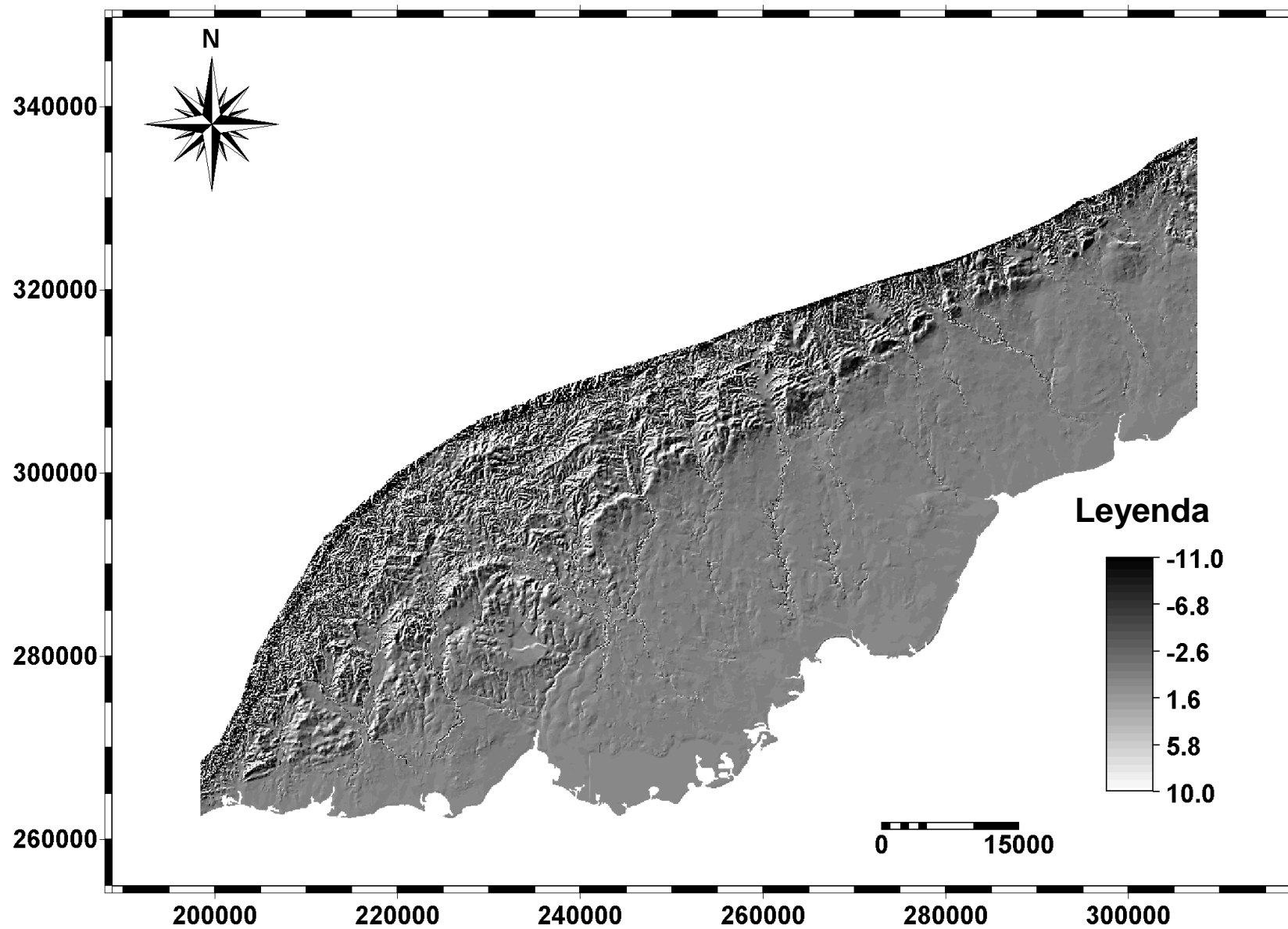


Figura III.2- Mapa de relieve sombreado.

III.4.2 Mapa de disección vertical.

Este mapa no es más que el desnivel de cota (cota máxima - cota mínima) por hectárea o por Km^2 e indica el grado de erosión vertical o de fondo. Para su detección se filtra el DEM con un filtro Rank Order, empleando rango 1 y 41 se obtienen los valores mínimos y máximo de la cota por unidad de área valor Km^2 . La diferencia resultante constituye la disección vertical (Anexo 3).

III.4.3 Mapa de disección horizontal.

El mapa de disección horizontal (textura del drenaje) se expresa cuantitativamente sobre la base de la densidad del drenaje, la cual se estima a partir de la suma total de longitud de los cursos fluviales por Km^2 (Deffontaines, 1990). Este mapa tiene como utilidad fundamental la evaluación de la red de drenaje, escurrimiento de las aguas superficiales y el estudio del grado de erosión lateral del territorio.

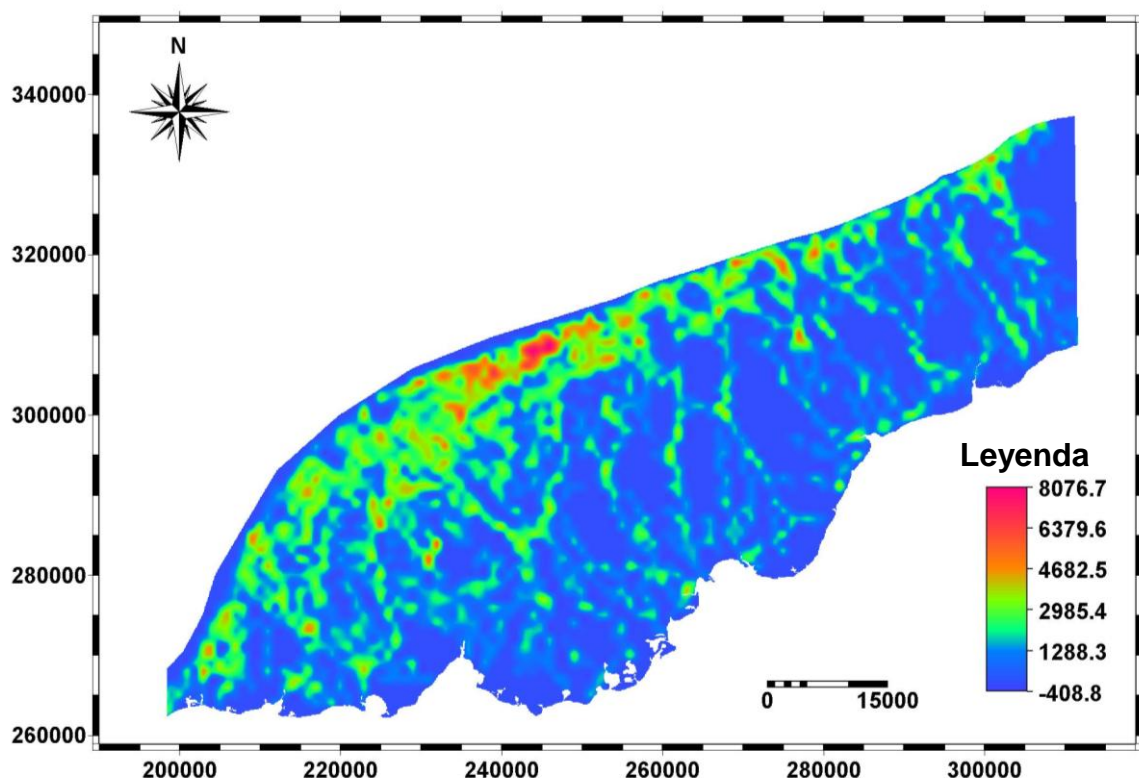


Figura III.3- Mapa de disección horizontal (m/ Km^2), con tamaño de píxel -100m.

Con el uso de la operación Segment Density de ILWIS 3.4, se procede a generar un mapa de densidad de segmentos. El mapa se calculó utilizando un tamaño de píxel de 1000 m de manera tal que los resultados se expresaran en Km^2 .

Seguidamente se remuestreó con un tamaño de pixel de 100x100m para que el mapa resultante tuviera la misma resolución espacial que el resto de los mapas y pudieran ser combinados con este.

III.4.4 Integración y análisis.

La etapa final de los trabajos consistió en la integración de todos los mapas obtenidos y el posterior análisis de los resultados. Existen distintos modelos, fáciles de implementar en sistemas de información geográfica (SIG), para la integración de los mapas de evidencias (Agterberg et al., 1990; Bonham-Carter et al., 1988; Bonham-Carter, 1994; Carranza, 2002; Porwal, 2006). Estos se clasifican en:

- Métodos basados en el conocimiento ((subjetivos - criterio de expertos): Lógica booleana, lógica difusa (fuzzy), superposición indexada y funciones de confianza
- Métodos basados en los datos (objetivos): Ponderación de evidencias, regresión logística y redes neuronales

Como los modelos sustentados en los datos necesitan contar con un número grande de yacimientos o manifestaciones y en el sector de trabajo la cantidad de patrones es reducida, se decidió utilizar dos métodos simples de integración: la lógica booleana y la superposición indexada.

➤ Lógica booleana

Este es, posiblemente, el modelo de integración en SIG más simple y el mejor conocido. Se basa en la combinación lógica de mapas booleanos o binarios, los cuales se obtienen como resultado de la aplicación de operadores condicionales. Los distintos mapas de evidencias o capas se combinan para comprobar una proposición o hipótesis de trabajo. La desventaja de este modelo está en la asignación de igual importancia a todos los criterios que se combinan. Por otra parte la salida o mapa final es binaria y extremadamente restrictiva.

➤ Superposición indexada

Es un método simple donde la ponderación de los mapas de evidencias y las clases, se basa en el conocimiento que posee el geólogo sobre el tipo de yacimiento estudiado. El mapa resultante (mapa de potencial mineral o

favorabilidad) es una combinación lineal ponderada de todas las variables estudiadas (Bonham - Carter, 1994; Harris et al., 2001).

$$S = \frac{\sum_{j=1}^n S_{ij} W_j}{\sum_{j=1}^n W_j}$$

Donde: W_i - es el peso de cada uno de los mapas de evidencias

S_{ij} - es el peso de la clase j en el mapa de evidencias i

S- Mapa resultante

Las ventajas del método radican en que la ponderación de mapas y atributos permite una mejor representación del criterio de los expertos, ajustando los pesos de mapas y clases es posible evaluar diferentes escenarios y el mapa resultante posee varias clases o niveles de favorabilidad. La principal desventaja está en la naturaleza lineal aditiva del método.

En este trabajo el modelo de superposición indexada se aplicó en dos variantes. En la primera, los mapas que se integran son binarios y todos poseen el mismo peso.

En la segunda, se trabaja con mapas multiclases y con pesos diferentes para los mapas de evidencias y sus respectivas clases.

III.4.5 Análisis del drenaje.

El análisis del drenaje (fig.III.4), brinda elementos sobre los rasgos estructurales y litológicos de un área (Tator, 1954). La idea subyacente es que los ríos fluyen necesariamente de las zonas más elevadas a las más bajas, paralelos al gradiente topográfico regional (máxima pendiente).

El levantamiento de la red de drenaje, permite conocer las principales direcciones y la configuración del tipo de drenaje, las diferencias cuantitativas y cualitativas entre las densidades de drenajes, los fenómenos fluviales asociados a la tectónica (alineamientos, reflexiones, refracciones) y la disección horizontal del área (Lamadrid y Orta, 1977).

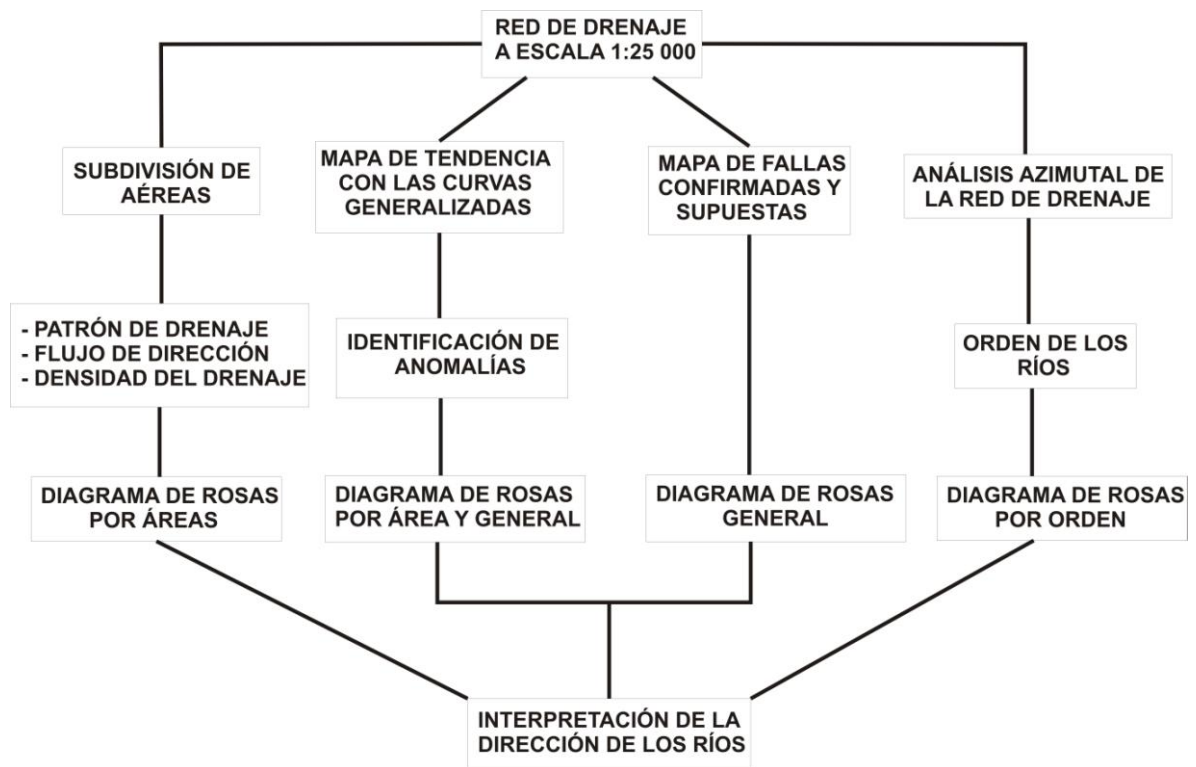


Figura III.4- Diagrama de flujo del análisis del drenaje.

Como los yacimientos de grava y arena están asociados a la red fluvial, se realizó un estudio detallado del drenaje con el objetivo de establecer, de forma preliminar, las regularidades en la localización de los yacimientos buscados y evaluar la influencia de la litología y la tectónica sobre el diseño de la red de drenaje.

El estudio se realizó en 3 etapas (fig.III.4): Individualización de subareas homogéneas, identificación de las anomalías del drenaje y análisis azimutal del drenaje. Barrios et al. (1988), reconoce el papel que han tenido los movimientos neotectónicos. La red hidrográfica está ajustada a determinadas líneas de debilidad tectónica y estructuras o cuerpos geológicos.

CAPÍTULO IV. Integración y análisis de los resultados.

En esta etapa se integraron todos los mapas predictores en un mapa pronóstico final para depósitos de arena y grava. Los criterios utilizados fueron derivados del modelo descriptivo, mientras que la importancia o peso de cada mapa de atributo y las distintas clases que lo conforman, fueron estimados de forma subjetiva sobre la base del conocimiento que se tiene de este tipo de yacimiento. Los mapas de evidencias se combinaron empleando dos métodos de integración: superposición indexada y lógica booleana. A continuación se analiza cada uno de los mapas obtenidos.

IV.1 Mapa geológico.

Se conoce que estos yacimientos están asociados a los sedimentos aluviales en los cauces, llanuras de inundación y terrazas. Por esta razón, el mapa geológico (fig.IV.1) disponible (1:100 000), fue reclasificado para identificar las áreas o sectores donde afloran los sedimentos aluviales del cuaternario (aQ y alQ).

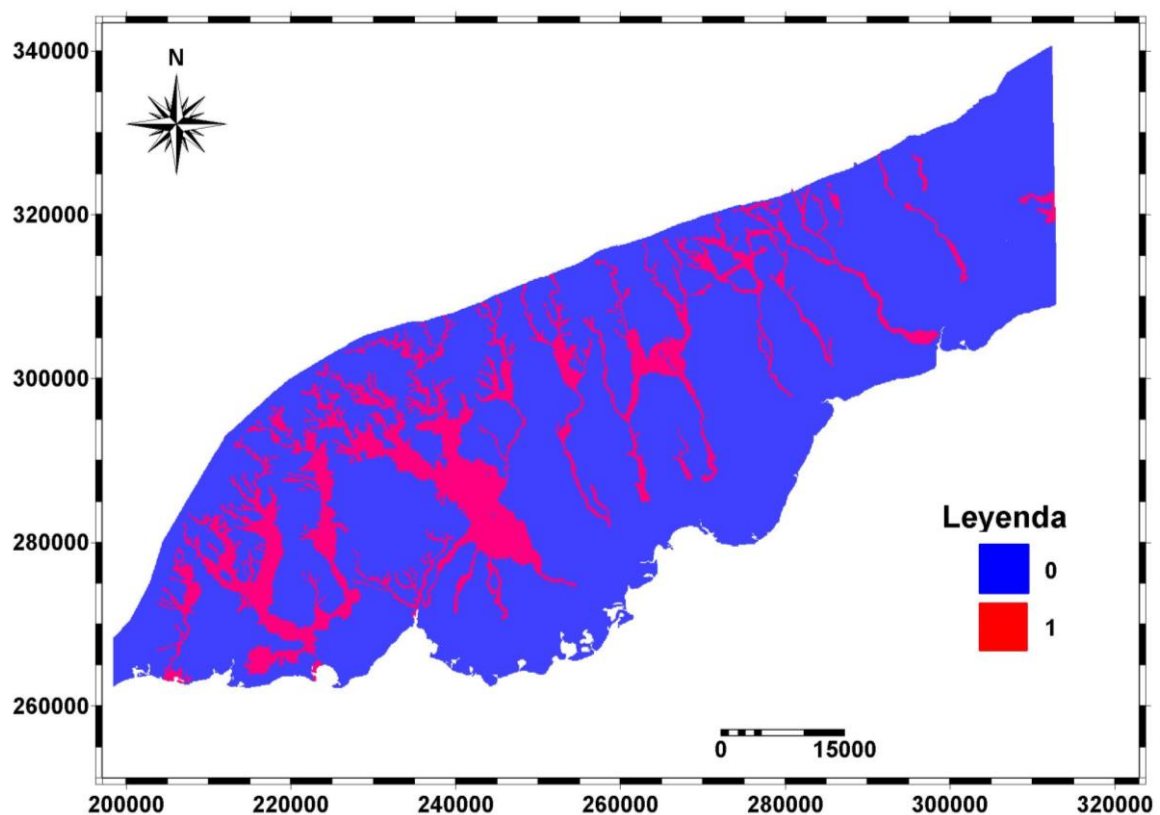


Figura IV.1- Mapa aluvial booleano, elaborado a partir del mapa geológico a escala 1:100 000, representando: 1-Presencia de los depósitos aluviales del cuaternario (alQ y aQ) y 0- Ausencia de los depósitos aluviales del cuaternario (alQ y aQ).

IV.2 Mapa de suelo.

Este mapa permitió revelar los tipos de suelos de origen aluvial (tipo XXVI). La distribución espacial de los mismos coincide básicamente con los sedimentos aluviales del cuaternario (aQ y alQ). Sin embargo, delimita áreas que no son identificadas por el mapa geológico (Fig. IV.2). Por otra parte en este mapa no se revelan los depósitos aluviales que aparecen en la zona de la pre-montaña por lo que es necesario combinar la datos que brindan ambos mapas.

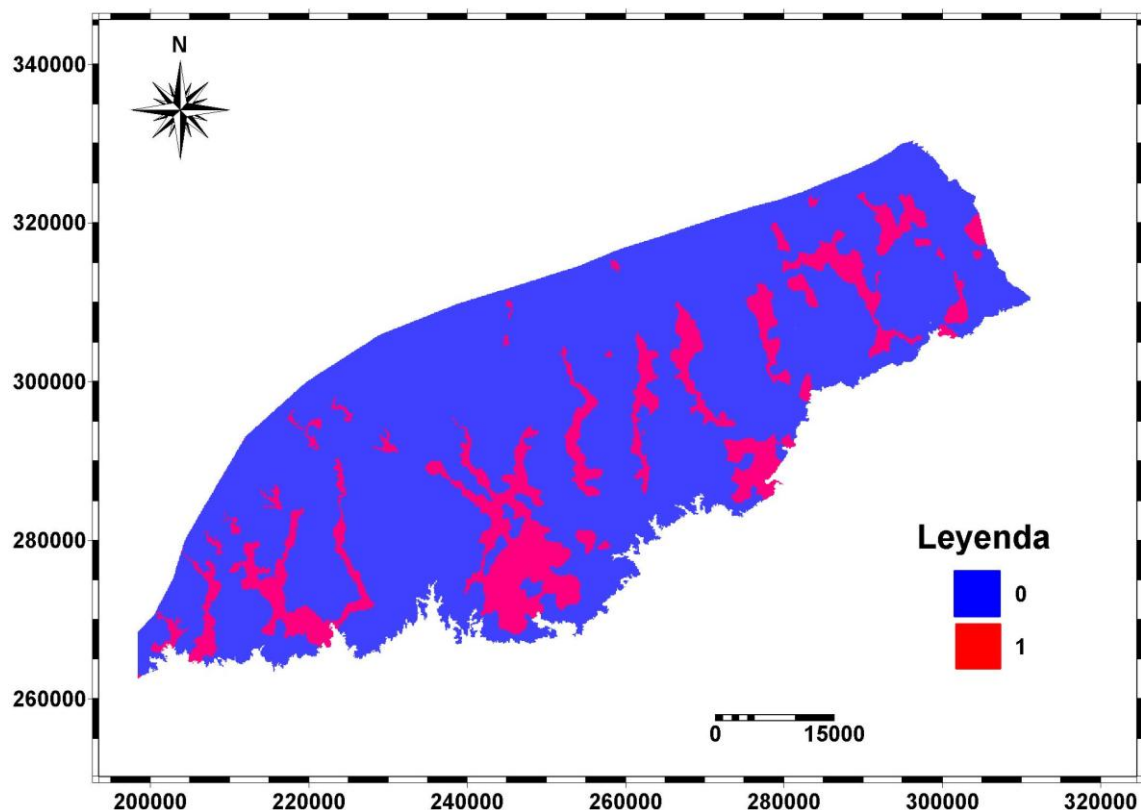


Figura IV.2- Mapa de suelo (tipo XXVI) aluvial booleano, elaborado a partir del mapa de suelo a escala 1:25 000. 1- Presencia de suelos de origen aluvial 0- Ausencia de suelos de origen aluvial.

IV.3 Mapa de sedimentos aluviales.

El mapa de sedimentos aluviales (Fig. IV.3) fue obtenido por la combinación del mapa geológico (Fig. IV.1) y el mapa suelo (Fig. IV.2), utilizando el operador lógico (**or**). Este mapa permitió cartografiar todos los sedimentos aluviales presentes en el área de estudio, en los cuales se localizan los prospectos de arena y las concesiones existentes.

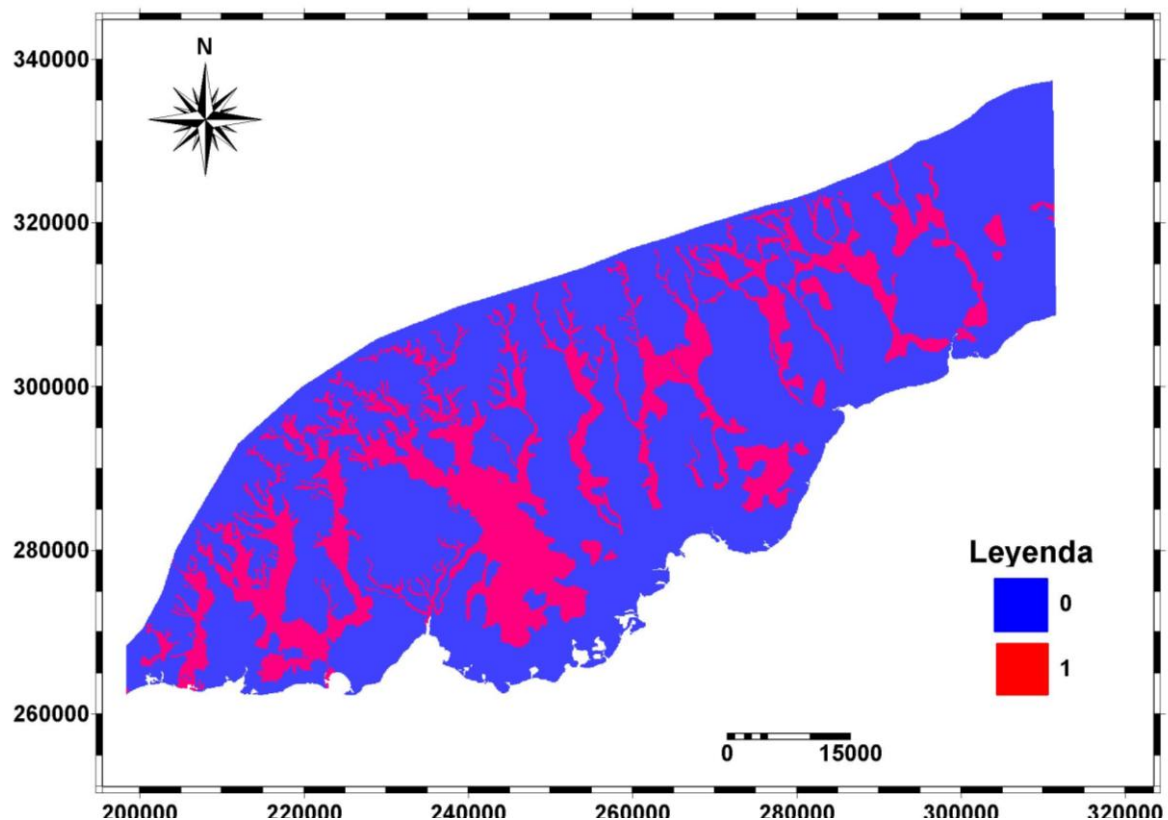


Figura IV.3- Mapa de sedimentos aluviales booleano, elaborado a partir de la combinación del mapa geológico y el mapa de suelo. 1- Presencia de sedimentos de origen aluvial 0- Ausencia de sedimentos de origen aluvial.

IV.4 Mapa de disección horizontal.

Este mapa arrojó los sectores de la región que presentan mayor densidad de drenaje. Es decir, en el área donde halla fuerte densidad, existirá un número de cauces determinados, lo cual evidencia desarrollo fluvial o migración lateral de los mismos. El análisis del mapa de disección horizontal reclasificado (fig. IV.4), indicó que la porción más densa de la región pertenece al sector pre-montañoso, formado por una franja alargada de este a oeste. A pesar las características explicadas se comprueba, por el mapa geológico y el de suelo, que ha existido poca acumulación de depósitos aluviales, por tanto estas corrientes son meramente erosivas.

Hacia el centro la densidad va disminuyendo, pero los valores máximos que forman cuerpos alargados con dirección S, NW y NE, coinciden con los cauces de los principales ríos de la llanura. Más hacia el sur la densidad se empobrece, predominando un patrón distributivo del drenaje.

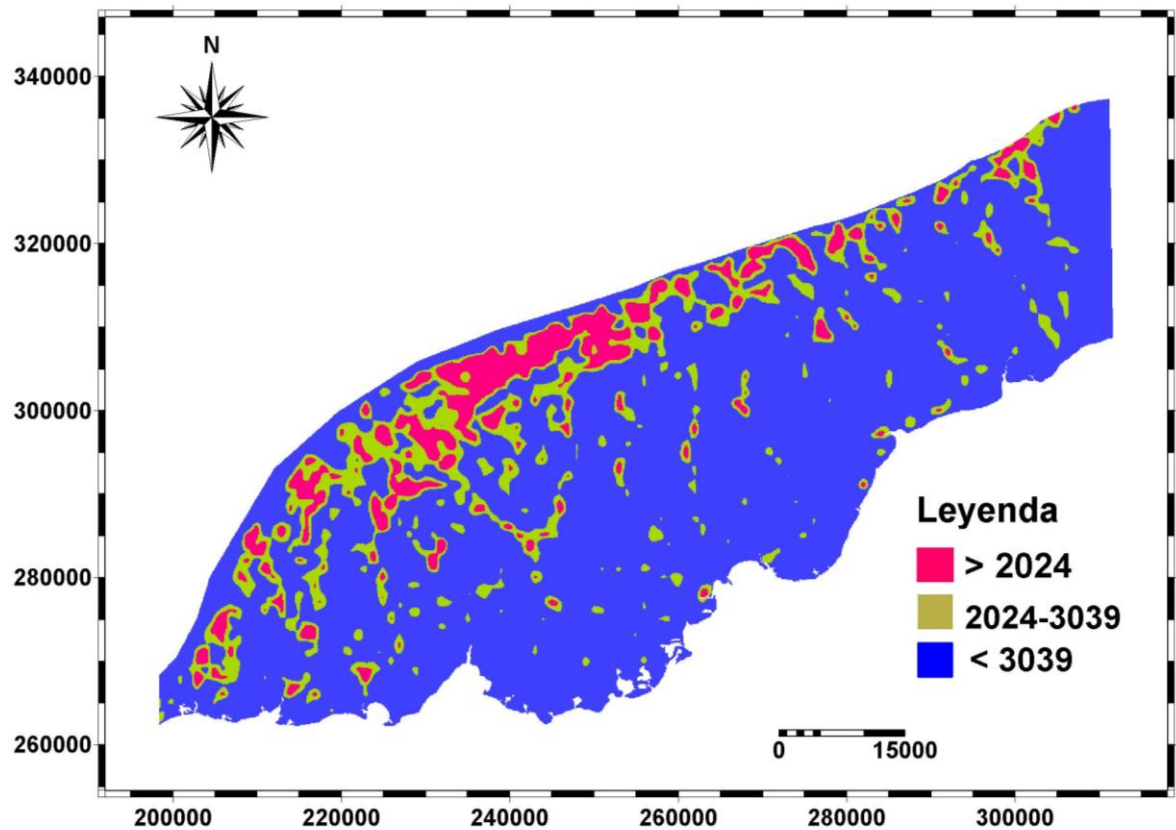


Figura IV.4- Mapa de disección horizontal reclasificado, elaborado a partir de la red de drenaje con tamaño de píxel (1000x1000) y rango desde 0 hasta 8067.

IV.5 Mapa de frecuencia.

Este mapa presenta un comportamiento muy similar con el mapa de disección horizontal (fig. IV.5), el coeficiente de correlación Pearson alcanzó 0.93. Dada la alta correlación que existe entre ambos mapas se decidió utilizar en el pronóstico el mapa de disección horizontal.

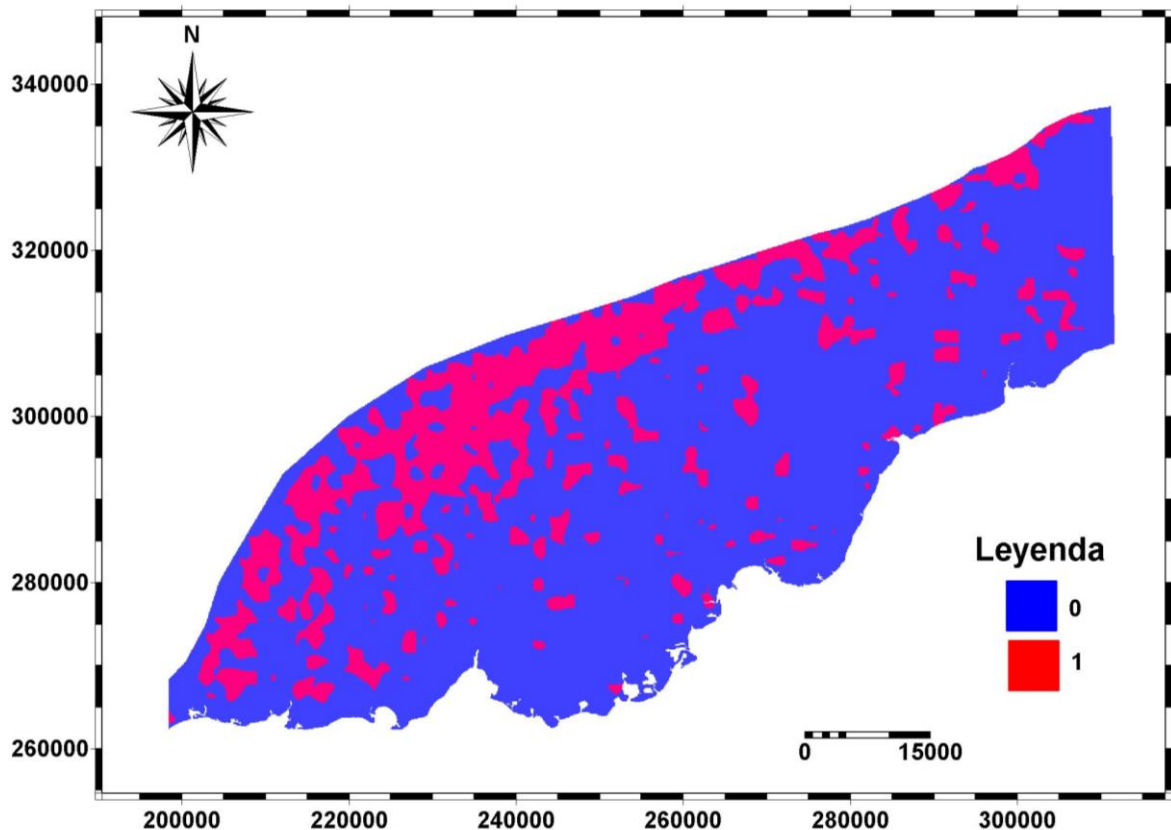


Figura IV.5- Mapa de frecuencia booleano, elaborado a partir de la red de drenaje con tamaño de píxel (100x100) con valor de (1) \geq 1,8.

IV.6. Mapa espectrométrico del potasio.

El criterio aéreo-espectrométrico (canal del potasio), se utiliza por primera vez en el pronóstico de depósitos aluviales de arena y grava. Esto es posible ya que la principal fuente de aporte de material terrígeno lo constituyen las areniscas cuarzo feldespáticas de la Fm. San Cayetano. El análisis de este mapa (fig. IV.6) y su superposición con el mapa geológico y la red de drenaje, evidencia la relación espacial existente entre las anomalías de potasio, los sedimentos aluviales y las corrientes fluviales.

La interpretación del mapa espectrométrico, permitió dilucidar tres aspectos fundamentales:

- En la parte N-NW de la región se evidencian anomalías de potasio en forma de franja desde el contacto de Sierra de los Órganos y Sierra del Rosario hasta el municipio de San Juan, extendiéndose aproximadamente 78km y con azimuth 230° por toda la pre-montaña. Las anomalías de potasio

presentan dirección NE-SW y en algunos casos coinciden con los parte aguas. El origen de esta franja pudiera interpretarse a partir de la coalescencia de abanicos aluviales o conos de deyección, relacionadas con corrientes temporales que depositaron su carga sedimentaria al salir a la llanura, formándose los depósitos pro-aluviales.

- En la parte central del área las anomalías de potasio coinciden con la dirección de flujo de las corrientes superficiales, y los máximos están situados entre dos cauces. Esto evidencia la migración lateral del mismo. Un caso interesante se presenta en la zona este, cerca del poblado Martí en el municipio de San Cristóbal, donde la fuente de aporte de material litológico es básicamente carbonatada. En él se observa una fuerte anomalía, que puede estar relacionada con la existencia en la zona de determinados cauces abandonados (Anexo 4).
- Al sur de la llanura, en las cercanías de la costa, las anomalías de potasio presentan forma de abanicos, lo cual se interpreta como depósitos deltáicos. En algunos tramos, la configuración de la costa reafirma lo planteado anteriormente. Además, Barrios y otros, 1988 asocian los cortes arcillosos dentro de los depósitos aluviales marinos (am Qiii-Qiv), que se distribuyen a todo lo largo de la llanura costera, con las facies de delta.

La interpretación de este mapa facilita la identificación de fenómenos de piratería fluvial como ocurrió en las cercanías de la desembocadura del río Guama, así como la dirección probable de migración de los cauces fluviales (migración hacia el occidente del curso de los ríos Los Palacios, San Diego y Herradura dejando hacia el oriente sus sedimentos aluviales).

Finalmente, los sectores identificados por Mederos y otros, (2009); las concesiones de arena y los prospectos existentes presentan una alta asociación espacial con las zonas de alta concentración de K.

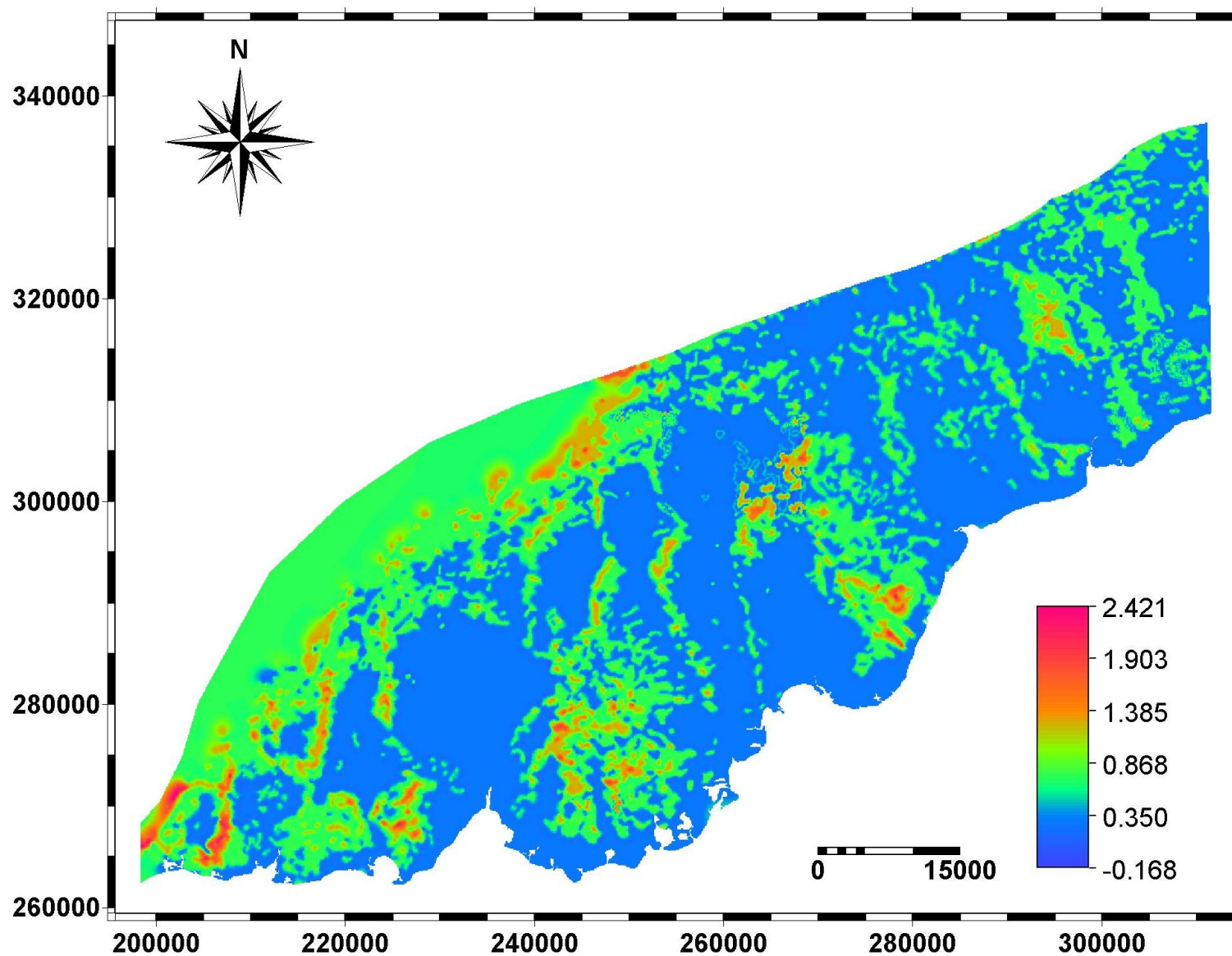


Figura IV.6- Mapa espectrométrico del canal del potasio (%), tomado de vuelo aéreo- geofísico 1:50 000.

IV.7. Mapa pronóstico para depósitos de arena y grava.

Para integrar los mapas predictores se emplearon dos métodos: **lógica booleana** y **superposición indexada**. El pronóstico se realizó en 3 etapas sucesivas de forma tal que se fue incrementando la complejidad del mismo. En la primera etapa el resultado se obtuvo a partir de la aplicación de la lógica booleana, según la fórmula siguiente:

$$\text{➤ } \mathbf{Mod_bool = (K_bool) \text{ and } (aluvial) \text{ and } (Dh_bool)}$$

Donde: **K_bool** –Mapa binario del canal del potasio

aluvial –Mapa de sedimentos aluviales (binario)

Dh_bool – mapa booleano de Dh

Los resultados se muestran en (tabla IV.1 y Anexo 5). Como se puede observar el pronóstico es extremadamente restrictivo y conservador, acorde al modelo de integración empleado.

Posteriormente se obtuvo un mapa pronóstico a partir de la suma algebraica de los 3 mapas de evidencias (booleanos), asignándole el mismo peso a cada uno de ellos. La fórmula utilizada se presenta a continuación y los resultados se reflejan en el (Anexo 6).

$$\text{➤ } \mathbf{Bool = K_rot_bool + aluvial + Dh_res100_bool}$$

Finalmente la integración se realizó empleando el método de superposición indexada, asignando pesos diferentes a cada mapa y a las distintas clases que conforman los mapas predictores (tabla IV.1).

$$\text{➤ } \mathbf{Mapa \text{ pronóstico} = 3 * k_recl + Dh_recl + 2 * aluvial}$$

El mapa de pronósticos (fig. IV.7) representa el potencial mineral de la región para hospedar yacimientos de grava y arena asociados a los cauces fluviales de la llanura sur de Pinar del Río. Llama la atención la existencia de algunas áreas perspectivas en el sector N-W (pre-montaña), siendo esta predominantemente la erosiva. Se debe señalar que existen determinados sectores perspectivas en la zona centro-occidental, con forma alargada y dirección NE-SW, siguiendo el curso de los ríos principales como Hondo, Ajíconal, Los Palacios, Paso Viejo, Guamá,

Río Feo y San Juan, los cuales quedan separados por la Formación Guane. Sin embargo, no ocurre lo mismo en el sector centro-oriental, donde las zonas perspectivas son bastante reducidas, fruto de la poca distribución de las formaciones terrígenas en la parte superior de las cuencas hidrográficas.

Más hacia el sur, las áreas favorables ocupan grandes extensiones y coinciden con las acumulaciones de origen deltáico. Barrios et al. (1988), asocian los cortes arcillosos dentro de los depósitos aluviales marinos (am Qiii-Qiv), que se distribuyen a todo lo largo de la llanura costera, con las facies de delta, además agregan que en la medida que se avanza hacia el sur los sedimentos son más finos, consecuencia de la propia dinámica de las corrientes superficiales.

Los autores consideran, a criterio propio, que se le debe prestar mayor atención a la zona central, desde el occidente hasta el oriente, para la posible ocurrencia de arena y grava con granulometría adecuada, producto a que esta se enmarca como un área de acumulación, donde predominan diferentes formas deposicionales: meandros activos y abandonados, lagos en forma de herradura, barras marginales etc.

Además la posibilidad que se deposite arena de grano medio a grueso en estos tramos de los ríos es mucho mayor. Hacia el norte, en la zona de la premontaña, predomina la erosión sobre la acumulación, mientras que en el sur, en las cercanías de la costa, los cortes son más finos y arcillosos.

Para que el mapa fuera más interpretable, se reclasificó atendiendo a tres niveles de favorabilidad: baja, media y alta (fig. IV.8).

Los valores de corte empleados se seleccionaron sobre la base del análisis del histograma. Sobre el mapa reclasificado se digitalizaron y contornearon 26 sectores perspectivos (fig. IV.7).

Se puede observar que existe una alta densidad de zonas favorables en la parte occidental, no siendo así en el oriente.

Los sectores antes mencionados pertenecen a 10 cuencas (Anexo 8) (tabla IV.2), las cuales se encuentran ubicadas mayormente en la porción central y sur de la zona de estudio, se evidenció que las cuencas que mayor número de sectores acogen son Guamá y Hondo (5 sectores de interés cada una), seguidamente las cuencas de Los Palacios y San Cristóbal con 2 sectores cada una.

Tabla IV.1- Pesos asignados a los mapas predictores para diferentes métodos de integración.

<u>Mapas de evidencias</u>	<u>Superponderación Indexada</u>					<u>Lógica booleana</u>	
	Etapa 3			Etapa 2		Etapa 1	
	Peso mapa	Peso clase	Clase	Peso	Clase	Peso	Clase
Aluvial	2	1	1	1	1	1	1
		0	0		0		0
Disección Horizontal (DH- m/Km²)	1	3	alta (>3039.1)	1	1	1	1
		2	media (2024-3039)		0		0
		1	baja (<2024)				
Espectrom. (K %)	3	3	alta (>1)	1	1	1	1
		2	media (0.75-1)		0		0
		1	baja (>1)				

Se pudiera agregar que Mederos et al. (2009), en su investigación obtuvo como resultado 18 sectores o zonas perspectivas correspondientes a 9 cuencas, las cuales son reflejadas en el mapa (Anexo 9). El objetivo de está acción fue validar la información antes mencionada y ver la relación que presentaban las áreas propuestas por el autor antes mencionado y las obtenidas en la presente investigación.

Se puede concluir que existe bastante coincidencia entre las dos propuestas. Aplicando una metodología diferente de análisis fueron identificados prácticamente los mismos sectores y se agregaron otros nuevos. Sobre todo se incrementaron algunas zonas en la parte oriental de la llanura, la cual presenta las mayores dificultades con el suministro de grava y arena para la construcción.

El estudio de la zona occidental reveló una serie de sectores que Mederos y otros, (2009), en su investigación no tomó en cuenta, producto a que su área de trabajo no abarcó toda la llanura sur, siendo esta la extensión de la presente investigación. El mapa pronóstico reclasificado (fig. IV.9), con las carreteras y las

cabeceras municipales superpuestas, refleja que algunos sectores identificados se encuentran cercanos a las cabeceras municipales, como es el caso de San Juan, La Coloma, Consolación, Los Palacios, San Cristóbal, etc. Esto es de vital importancia dada el impacto que tienen los costos de transportación en este tipo de materia prima.

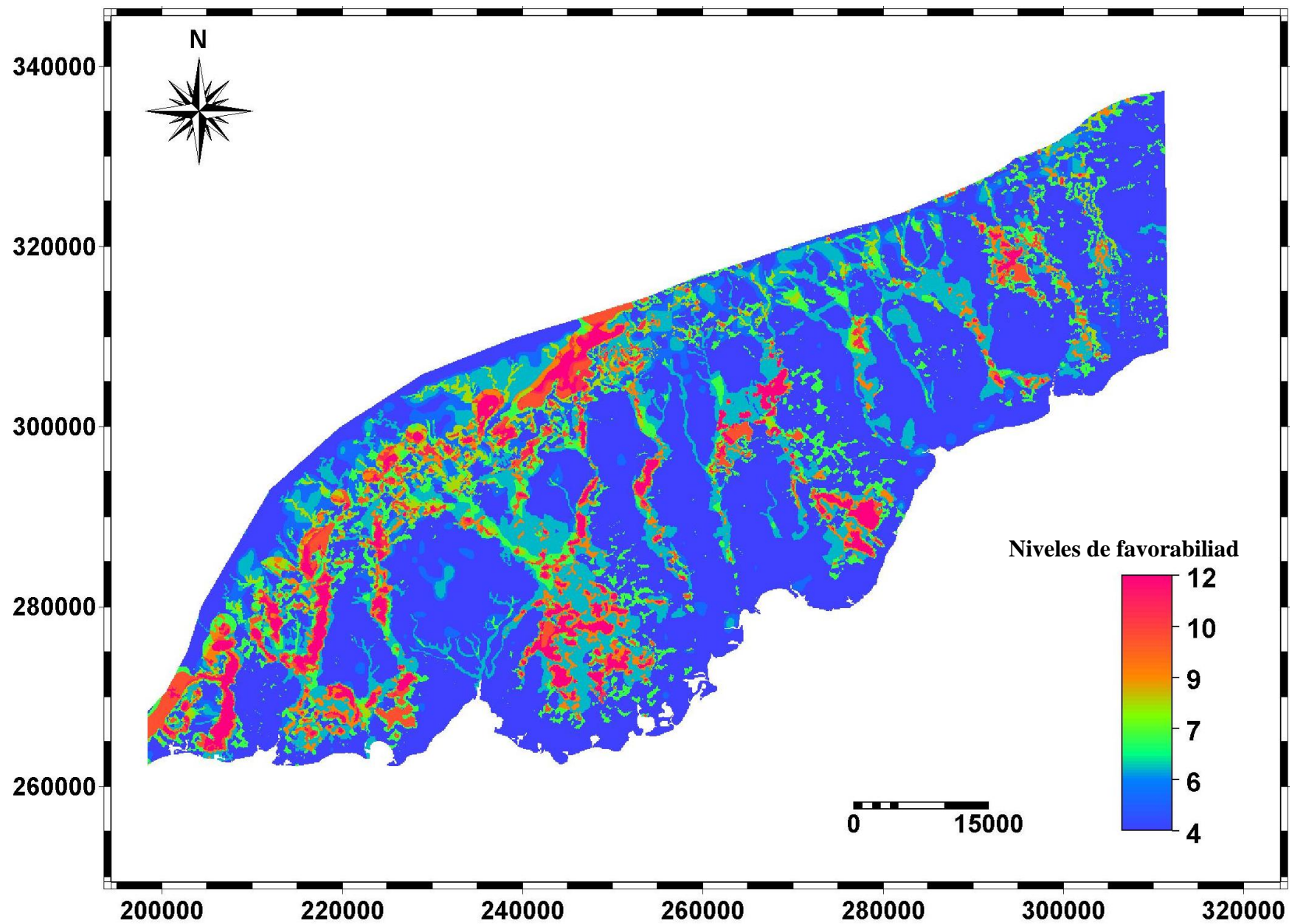


Figura IV.7- Mapa pronóstico final, representando el potencial de arena y grava, asociado a la red fluvial.

Tabla IV.2- Relación de sectores perspectivas, las cuencas a que pertenecen y su posición en el área de estudio.

Sector	Cuenca	Posición
1	Galafre	Se ubica en la porción S-W de la región de estudio
2	San Juan y Martínez	Se ubica en la porción S-W
3	Guamá	Se ubican en la porción SW de la región de estudio
4	Guamá	Ídem.
5	Guamá	Ídem.
6	Guamá	Ídem.
7	Guamá	Ídem.
8	Guamá	Ídem.
9	Ajiconal	Se ubica en la porción meridional de la zona de estudio.
10	Brazo de Enrique (Madre Vieja), Ajiconal, Hondo	Está situado en la zona Sur de la región, adyacentes a la costa.
11	Hondo y Ajiconal	Se encuentra en Sur del área estudiada.
12	Hondo	Se sitúa en la porción meridional de la región.
13	Hondo	Ídem.
14	Hondo	Ídem.
15	Hondo	Ídem.
16	Hondo	Ídem.
17	Hondo	Ídem.
18	Herradura	Situado en la parte central de la llanura sur de pinar del río.
19	Herradura	Situado un poco más al norte de la región
20	San Diego	Se encuentra localizado en la parte SE de la zona.
21	Los Palacios	Se ubica en la zona Sur, desplazado hacia el Este de la región estudiada
22	Los Palacios	Ídem.

23	Los Palacios	Ídem.
24	Bacunagua	Ubicado en la zona central oriental del área estudiada
25	San Cristóbal	Ubicado en la porción Sur oriental de la llanura.
26	San Cristóbal, Santa Isabel (Sabanalamar)	Ubicado en la porción Sur oriental de la llanura

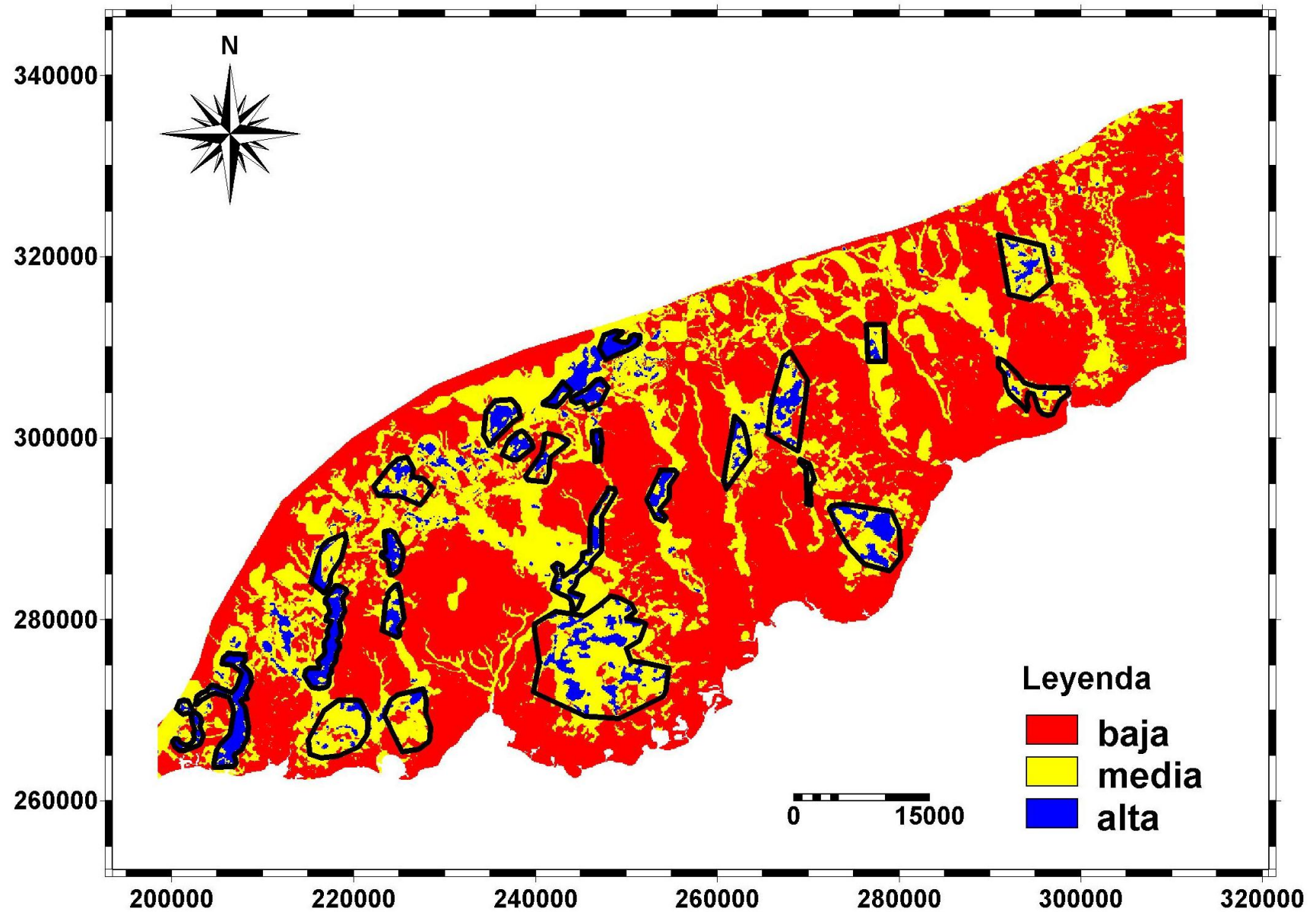


Figura IV.8- Mapa pronóstico reclasificado, con sectores propuestos por los autores para la búsqueda de arena y grava en la red fluvial de la Llanura Sur de Pinar del Río.

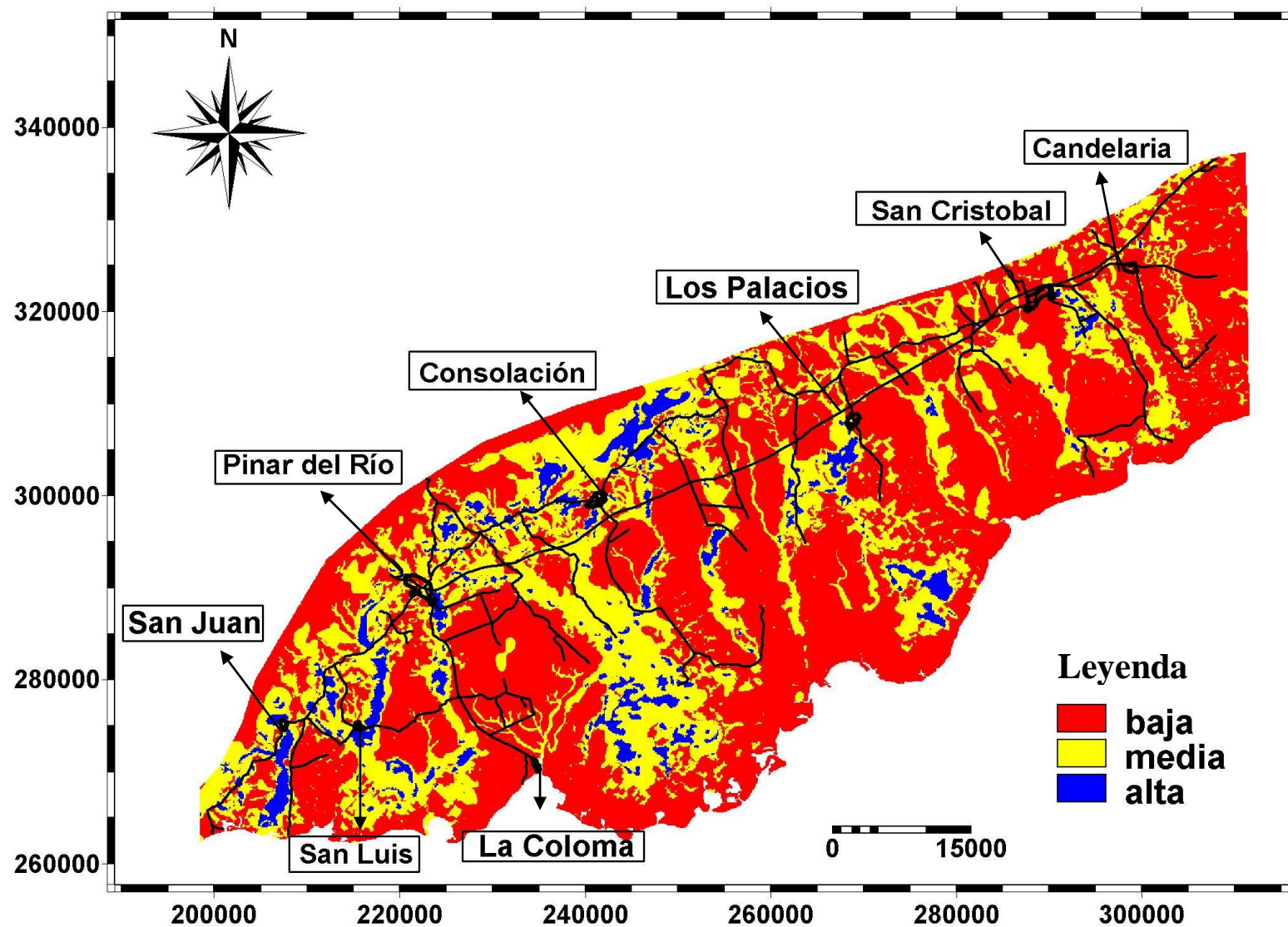


Figura IV.9-Mapa pronóstico reclasificado en niveles de favorabilidad con cabeceras municipales y carreteras principales.

IV.8. Análisis del drenaje.

Hartmam e Isaacs (1958) definen el **drenaje** como “la manera en que un área dispone del agua que escurre sobre ella”, además agregan que el mismo, se encuentra especialmente relacionado con otro elemento fisiográfico y geomorfológico de extraordinaria importancia como la “**erosión**”.

Algunos autores coinciden en que la red de drenaje, se refiere a la red de transporte superficial de agua y sedimento, como ríos, lagos y flujos subterráneos, alimentados por la lluvia. La mayor parte de esta agua no cae directamente en los cauces fluviales y los lagos, sino que permeabiliza las capas superiores del terreno y desde éstas aparece constituyendo arroyos.

La clasificación sistemática de los tipos de patrones ó configuraciones del drenaje, ha sido llevada a cabo por diversos especialistas, tanto geógrafos como geólogos, fisiógrafos como geomorfólogos, interpretes de fotografías aéreas casi todos. Estos se pueden clasificar en: dendrítica, enrejada, paralela, subparalela, radial, anular, trenzada, subdendrítica, anastomosada, reticular, pinada, asimétrica, rectangular, angular, centrífuga, centrípeta, etc.

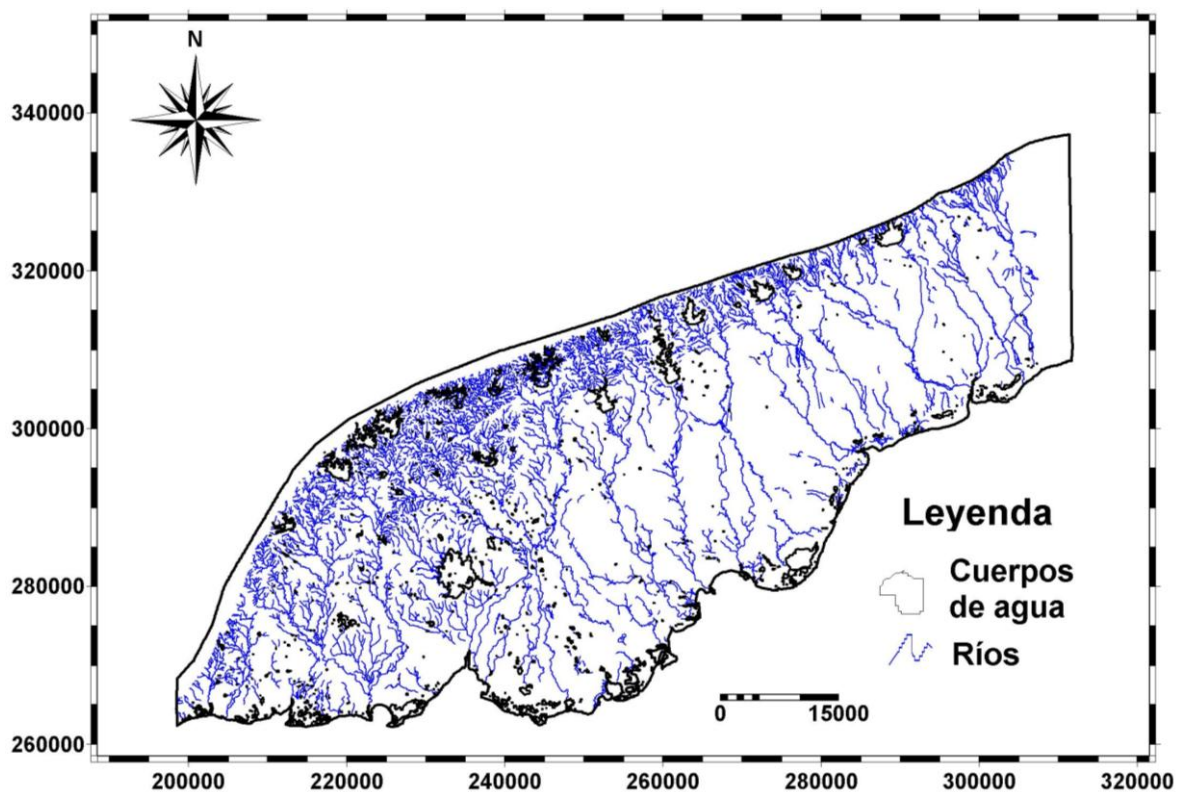


Figura IV.10- Mapa de la red de drenaje a escala 1:25 000 del área de estudio.

IV.8.1. Individualización de subáreas.

El análisis del drenaje comenzó con la individualización de áreas con patrón de drenaje subhomogéneos. La misma se realizó sobre la base de la dirección del flujo (fig), el patrón de drenaje y la textura del drenaje (disección horizontal DH). Posteriormente dentro de cada área se identifican las perturbaciones o anomalías del drenaje.

Las áreas uno y tres se encuentran ubicadas en la porción norte de la región, próximas a la falla pinar, presentando una alta densidad de la red de drenaje y patrón dendrítico. Los cauces en estas subáreas corren por encima de las formaciones Paso Real, Loma Candela y Guane hacia el SE, siguiendo el gradiente topográfico, así lo demuestran los diagramas de rosa de la zonas (fig.IV.11).

El área dos se ubica también al norte de la región de estudio, la misma separa las dos subáreas antes explicadas. Este es el sector que más alta densidad de drenaje posee, presenta configuración dendrítica, la forma casi circular del diagrama de rosa así lo demuestra. Sus cauces corren por encima de las formaciones Paso Real, Guane y Loma Candela. En un sector pequeño de dicha

área existe la presencia de corrientes que fluyen en sentido opuesto al buzamiento de las capas (ríos subsecuentes e insecuentes) esto está generado por la existencia de un parte aguas paralelos al rumbo de la estructura geológica.

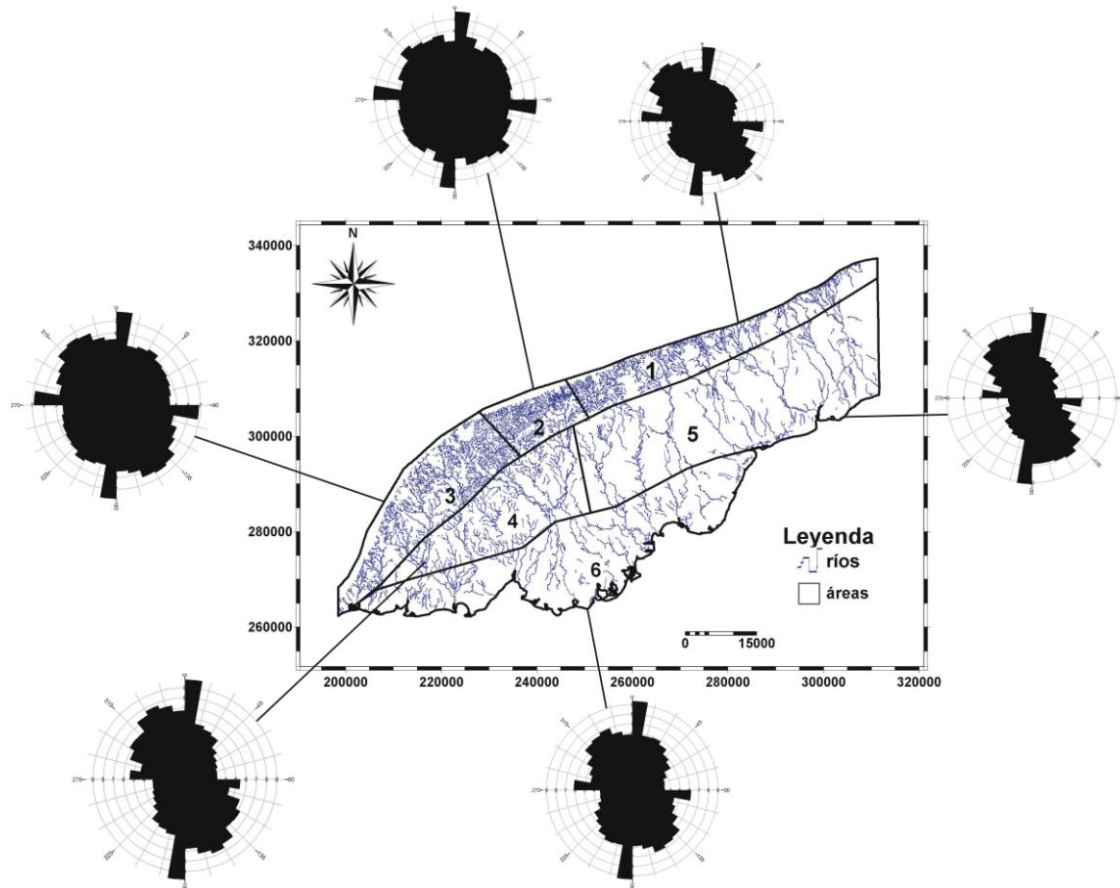


Figura IV.11- Mapa de drenaje subdividido en 6 sectores, con diagrama de rosas mostrando la direcciones del drenaje en las subáreas.

El área cuatro se sitúan en la porción centro occidental, presentando configuración dendrítica y densidad media de la red de drenaje. Básicamente todos los cauces corren sobre la formación Guane, con dirección paralela al gradiente topográfico. Hacia la parte oriental del área se observa la convergencia de los cauces fluviales y pequeños cambios en el sentido de los ríos, lo que puede estar originado por movimiento neotectónicos (descensos).

El área cinco se encuentra situada en la porción centro - oriental de la región de estudio, la misma presenta baja densidad de la red de drenaje, los ríos en esta zona corren por encima de la formación Guevara de forma paralela y equidistantes uno de otros, esto puede estar generado por un control estructural,

dicha subárea evidencia una configuración dendrítica poco desarrollada esto lo demuestra la escasez de tributarios en los cauces principales, además esta parte de la región está muy antropizada y canalizada. El diagrama de rosa correspondiente a esta área refleja que los ríos, preponderantemente, siguen la dirección del gradiente topográfico NW-SE.

El área número seis se sitúa en la zona más al sur de la región de estudio siendo la misma adyacente a la costa. Muestra baja densidad del drenaje y tiene configuración distributaria típica de formaciones deltáicas. Por este motivo el diagrama de rosa del área muestra dos direcciones preferenciales: NW-SE relacionado al gradiente topográfico y NE-SW. Sus ríos corren mayoritariamente sobre los depósitos del cuaternario (aluvial marino).

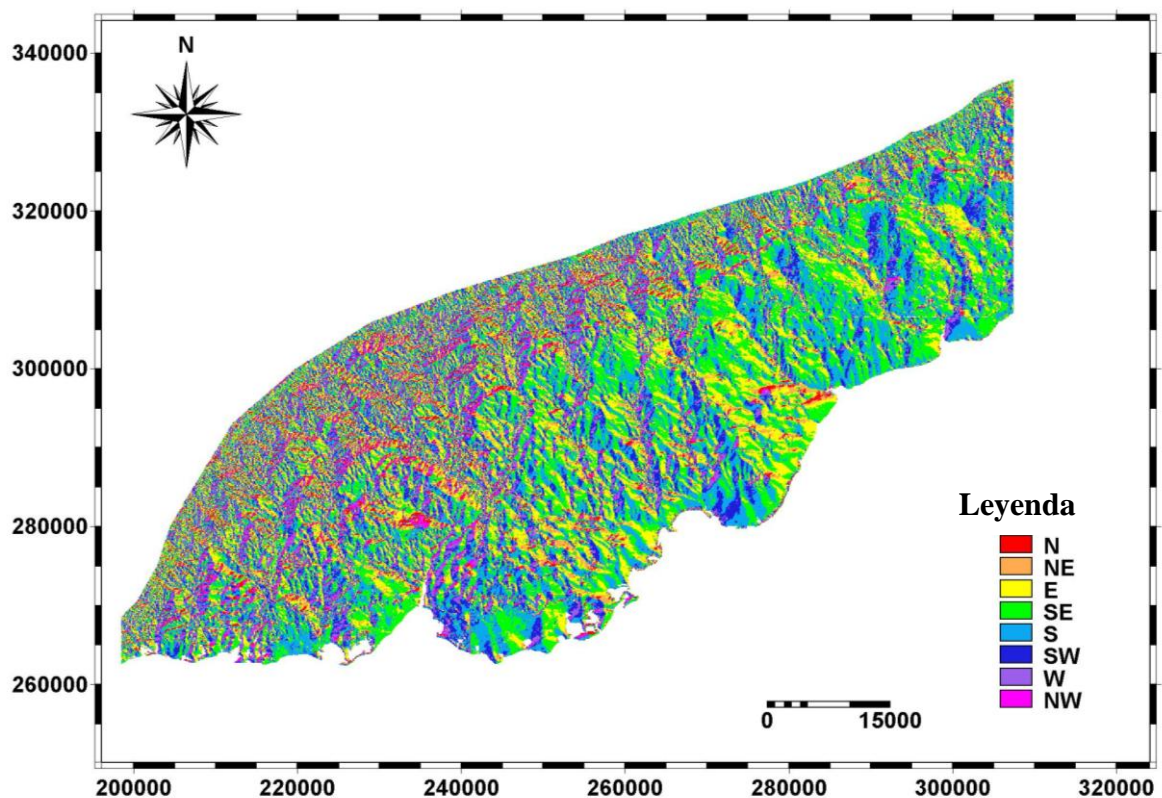


Figura IV.12- Mapa de dirección de flujo elaborado a partir del MDT.

Las subáreas identificadas corresponden de forma aproximada con las unidades lito-estratigráficas regionales, lo cual demuestra el control que ejerce la litología en la configuración de la red de drenaje.

IV.8.2. Anomalías del drenaje.

Todas las desviaciones del patrón dendrítico o direcciones de flujo oblicuas al gradiente topográfico regional (“misfit drainage”, Deffontaines et al., 1992), se consideran anomalías del drenaje relacionadas con discontinuidades estructurales o litológicas (Deffontaines et al., 1997, Pubellier et al., 1994).

Como anomalías fueron identificados los tramos rectos y extensos de los ríos, confluencias en ángulo recto especialmente por ambos lados del río principal o cuando un afluente lo hace en ángulo agudo y otro en ángulo obtuso correspondiente a zonas cercanas, coincidencia en la dirección de cambios en la dirección de los ríos (capturas), presencia de ríos insecuentes y subsecuentes, parte aguas o cambios bruscos y anómalos y confluencias alineadas (Barrios, 1988).

Para la identificación de las anomalías del drenaje, primeramente se realizó un mapa de tendencia (figura. IV.13), elaborado a partir del Modelo Digital del Terreno, al cual se le aplicó un filtro pasa baja (low-pass) para obtener el mapa residual que mostrara cual era la máxima dirección de la pendiente en la zona de estudio. Siendo así se corroboró que la misma presenta una dirección NW-SE (150grados). A este mapa se le superpuso las curvas de nivel generalizadas entre las cotas 60 y 10

La figura (IV.15) muestra los diagramas de rosa de las anomalías detectadas en cada subárea de la región de estudio. En la mayoría de ellas se evidencia la dirección NE –SW, mientras que la dirección NW–SE se manifiesta solamente en la subárea cinco.

Para conocer si estas anomalías coinciden con zonas de debilidad tectónica y poder establecer si la red de drenaje está estructuralmente controlada, se construyó un diagrama similar a partir de las fallas confirmadas y supuestas del mapa geológico 1:100 000. El diagrama de rosa reveló dos sistemas de fallas, uno con dirección NE-SW y el otro NW-SE.

El sistema de fallas con dirección NE-SW, que se manifiesta en el mapa geológico, coincide con la dirección preferencial de las anomalías de la red de drenaje, evidenciando que los ríos de la región han aprovechado las zonas de debilidad para establecer tramos de su curso. En el caso del sistema con dirección NW-SE, apenas se manifiesta la dirección preferencial de las anomalías,

exceptuando el área 5. Esto pudiera explicarse porque el hecho de que resulta difícil revelar anomalías que son paralelas al gradiente topográfico regional.

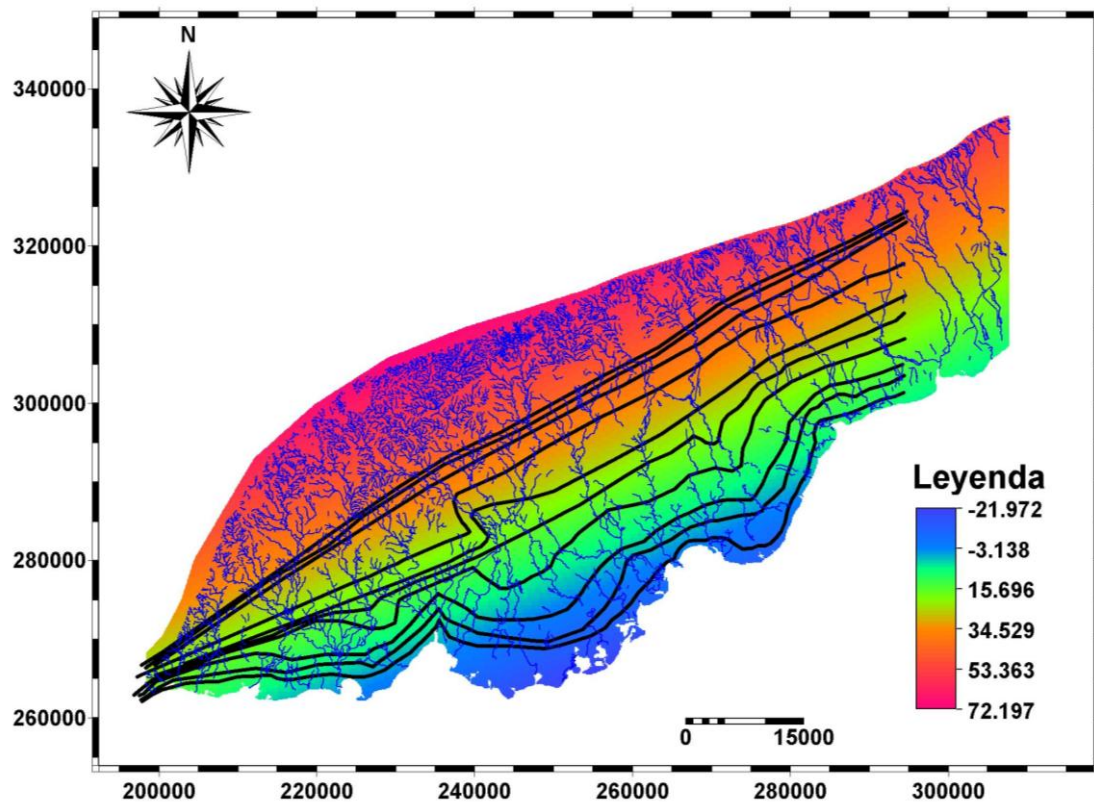


Figura IV.13- Mapa de tendencia, elaborado a partir del Modelo Digital del Terreno.

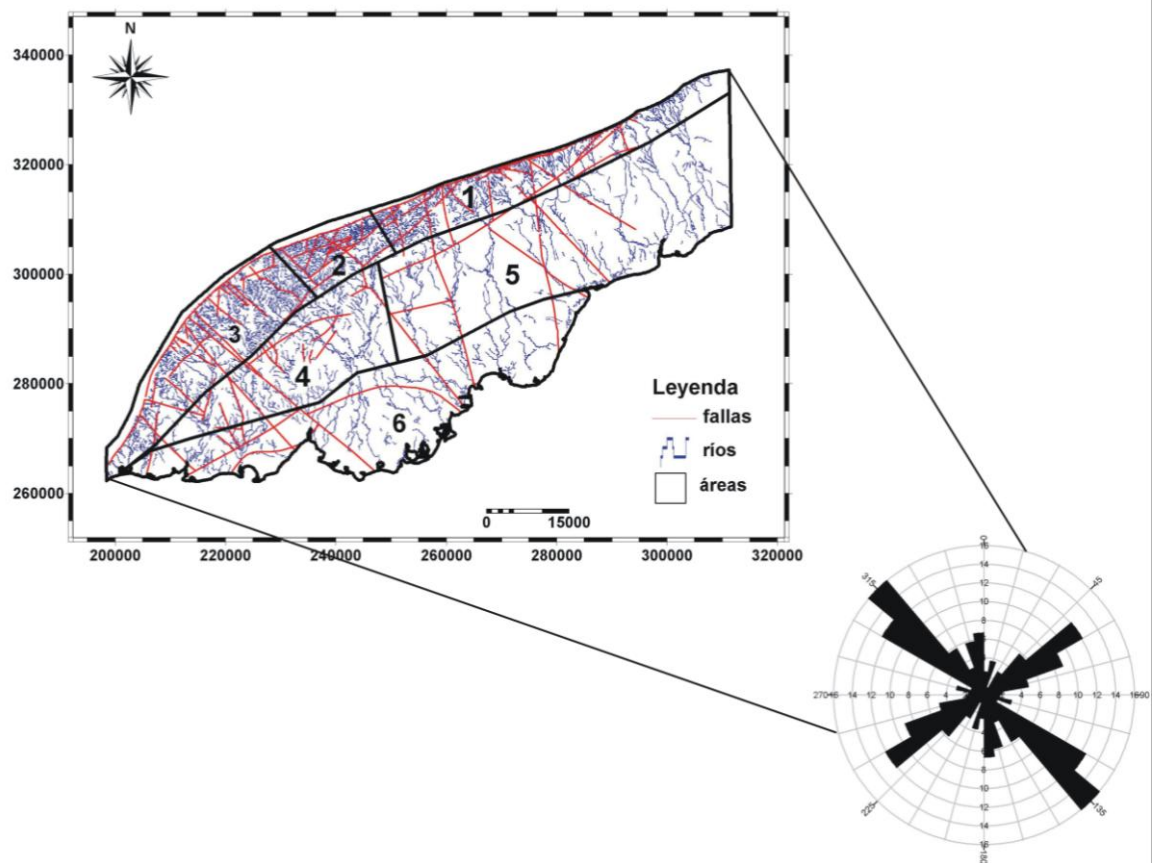


Figura IV.14- Mapa dislocaciones disyuntivas según el mapa geológico.

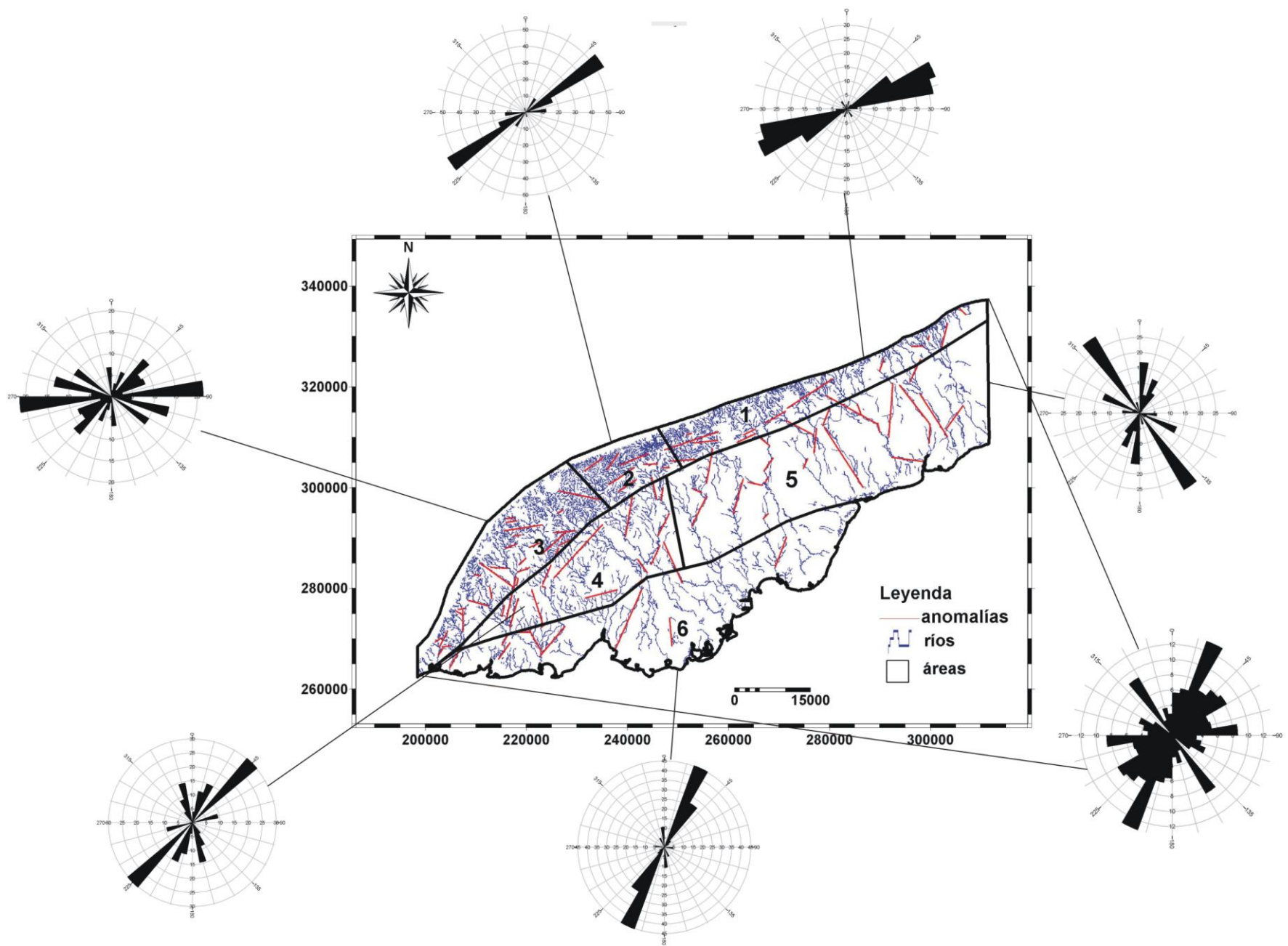


Figura IV.15 –Anomalías la red de drenaje en las subáreas de la llanura sur y sus correspondientes diagramas de rosas.

IV.8.3 Análisis azimutal del drenaje.

También para intentar evaluar la influencia de la tectónica en la configuración de la red de drenaje, se realizó un estudio de la distribución azimutal de las corrientes de distinto orden en el área (Ciccaci et al., 1986). Para esto se construyeron diagramas de rosas que representan la distribución de las orientaciones de las corrientes superficiales de distinto orden.

Strahler (1957), propuso una clasificación de cursos fluviales basada en la organización de los tributarios, de modo que un curso de orden 1 carece de tributarios, uno de orden 2 es formado por la confluencia de dos cursos de orden 1, uno de orden 3 es formado por la confluencia de dos de orden 2, y así sucesivamente. Como corolario el orden de una cuenca de drenaje está dado por el curso de orden mayor.

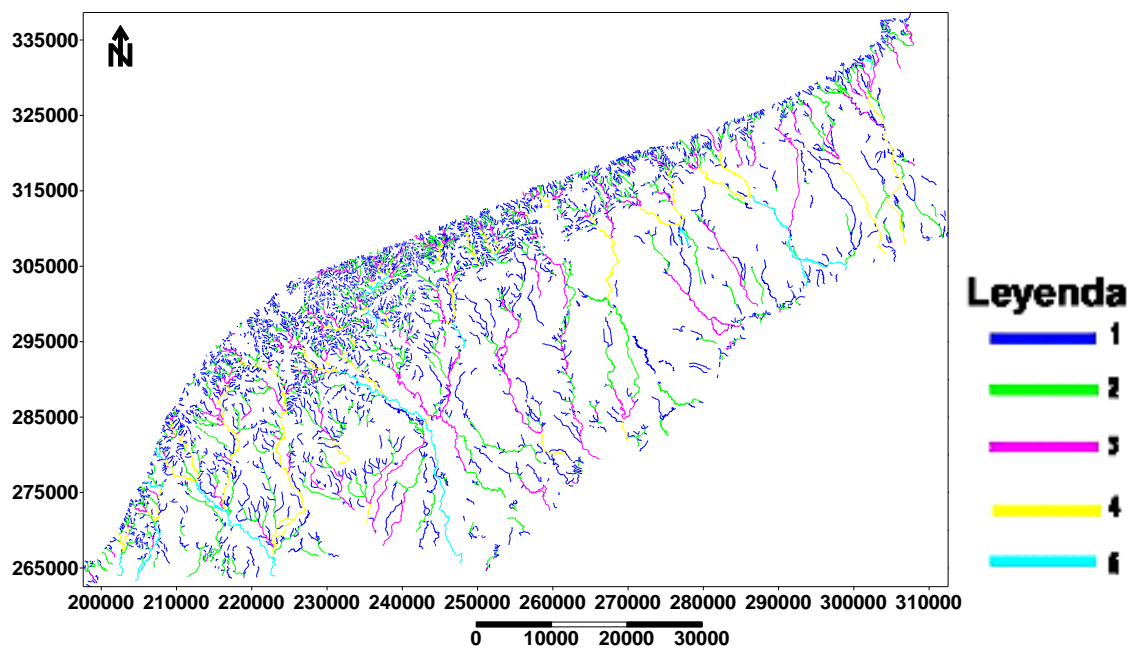
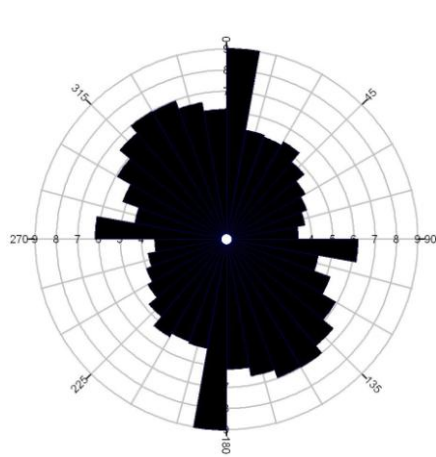
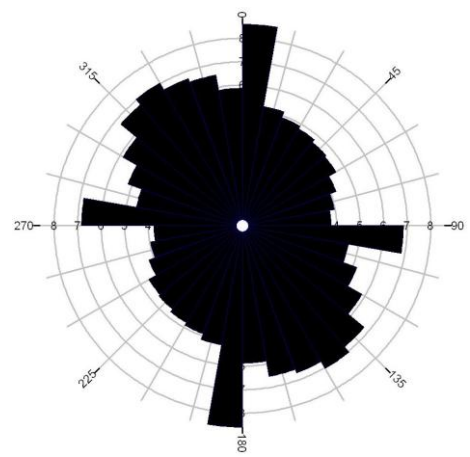


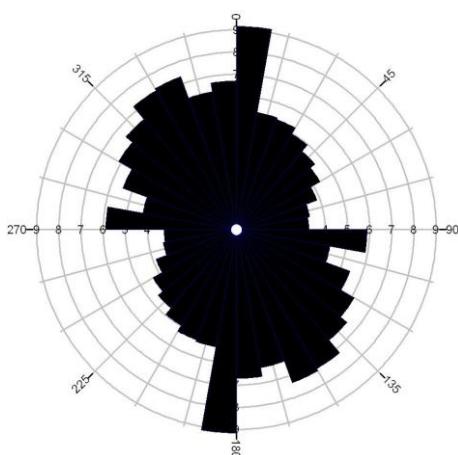
Figura IV. 16- Mapa de orden de los ríos según Strahler (1957).



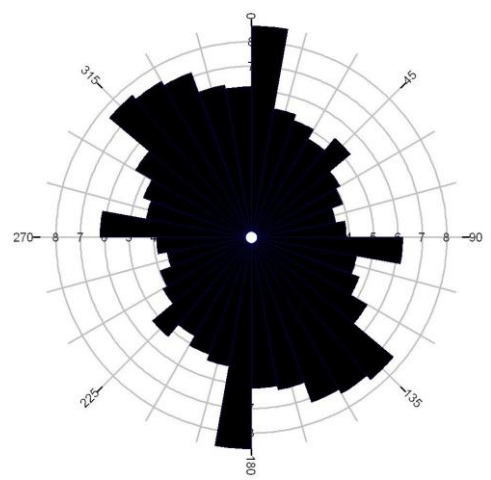
1 ORDEN



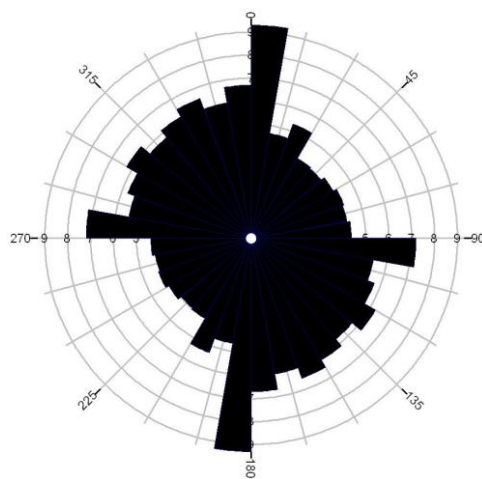
2 ORDEN



3 ORDEN



4 ORDEN



5 ORDEN

Figura IV.17 – Distribución azimutal de la red de drenaje. El análisis se realizó para los diferentes órdenes según Strahler (1957).

En términos de cronología relativa, las direcciones que influyen en los ríos de orden inferior poseen mayor incidencia en la evolución del drenaje en los tiempos recientes, mientras que aquellas que determinan los órdenes superiores son más antiguas y distantes en el tiempo.

Los resultados de este estudio (fig. IV.17) muestran la presencia en todos los órdenes del dominio NW-SE, lo cual es indicativo de su persistencia en el tiempo y su papel preponderante en la evolución morfológica del área. No se debe olvidar que este dominio corresponde con el gradiente topográfico regional, que constituye la dirección natural de flujo de las corrientes superficiales en la llanura sur. Sin embargo, la distribución paralela y equidistante de los ríos y sus cursos rectilíneos fundamentalmente en las corrientes de la parte oriental, combinado con la existencia, según el mapa geológico, de un sistema de fallas en esa misma dirección hacen suponer que la tectónica ha influido en la configuración del drenaje.

El dominio NE-SW solamente se manifiesta tenuemente en las corrientes de órdenes inferiores por lo que su influencia en el desarrollo de la red fluvial es limitado.

Según Barrios y otros (1988) los ríos Ajiconal y Hondo corren un extenso tramo de forma subparalela con dirección NW-SE y cambian su dirección al llegar a la desembocadura el primero lo hace con dirección N-S y el segundo continua con la inicial, este indica que existe un pequeño levantamiento en la zona intermedia del curso de estos dos ríos. En general la zona parece que subsidie y que a la vez están ocurriendo débiles movimientos de ascenso y descenso en su interior.

Mederos y otros (2009), concluye que los paleocauces de la llanura sur de Pinar del Río, no tienen su origen en el “Efecto Coriolis”, sino que son producto de los movimientos neotectónicos que afectaron al occidente cubano. Resulta interesante que las mayores desviaciones de cauces ocurrieron hacia el oeste, quedando los cauces abandonados al este: todo lo contrario a lo que normalmente suele ocurrir para las corrientes fluviales que corren N-S y S-N.

Del estudio detallado de la red de drenaje (fig. IV.10) y del mapa de anomalías de potasio (fig. IV.10), se desprenden tres elementos interesantes:

1. La convergencia de los ríos Paso Viejo, Ajiconal y Hondo hacia el centro de la región.
2. La dirección NE-SW que toman los ríos, Hondo, Herradura y San Diego en

la parte central y la dirección NW-SE que toman los ríos San Cristóbal y Jejenes en la zona oriental de la región de estudio.

3. Los depósitos aluviales (anomalías de potasio), en la zona central se encuentran desplazadas hacia la derecha de los cauces actuales y en la parte oriental ocurre todo lo contrario.

Esto puede ser interpretado como que en la zona han ocurrido pequeños movimientos verticales de ascenso y descenso. Posiblemente relacionados con la evidencia de basculamientos entre los ríos San Cristóbal y Jejenes los cuales han desplazado los cauces de la zona central hacia la izquierda y los de la parte oriental hacia la derecha evidenciado por las anomalías (Anexo 4).

IV.9. Cartografía de formas deposicionales.

Las áreas favorables, identificadas durante el pronóstico regional, fueron detalladas en imágenes Googles georeferenciadas, para identificar evidencias de migración del cauce y formas deposicionales, que avalen la favorabilidad del sector.

Entre las formas deposicionales identificadas y cartografiadas se encuentran las siguientes: meandros abandonados (fig. IV.12), (fig. IV.20) y activos (fig. IV.11), evidencia de barras marginales (point bar) Figura IV.11, cauces abandonados (fig. IV.13), (fig. IV.14), (fig. IV.15), colleras o brazos muertos (fig. IV.12), (fig. IV.14), lineamientos de laguna (fig. IV.16), (fig. IV.17), cauces enterrados (fig. IV.18), (fig. IV.19), fenómenos todos asociados a la red fluvial.

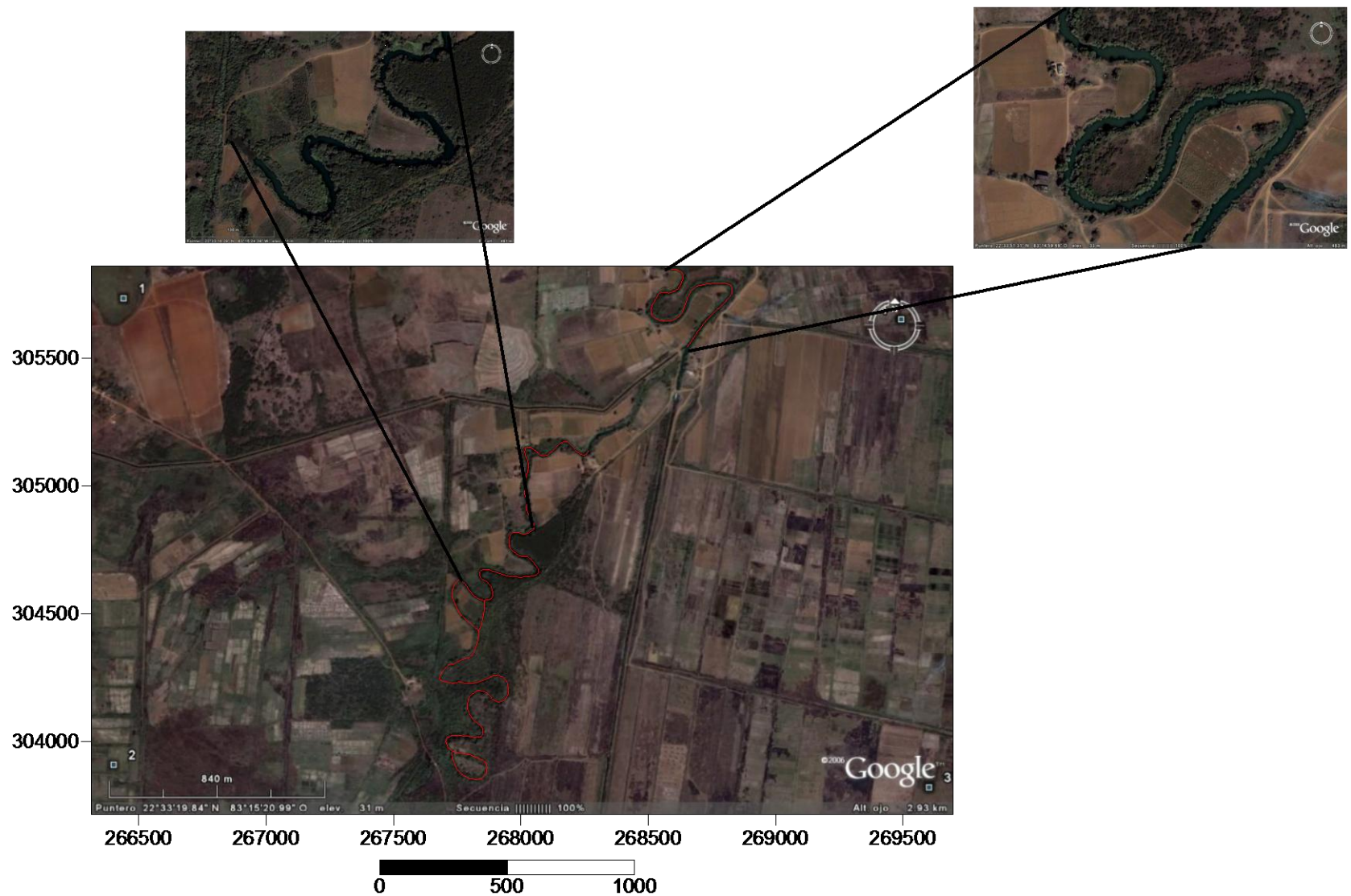


Figura IV. 18 – Foto satelital tomada del Google Earth. Cartografía de meandros activos en el municipio de los Palacios (foto3). Obsérvese en la (foto1) meandros activos ubicados a 3.25 Km. al S-SW de la localidad de los Palacios y en la (foto 2) meandros activos a 2.07 Km. de la misma localidad. Esta zona es referente a la porción central de la pre-montaña perteneciente al sector23 (cuenca Los Palacios).

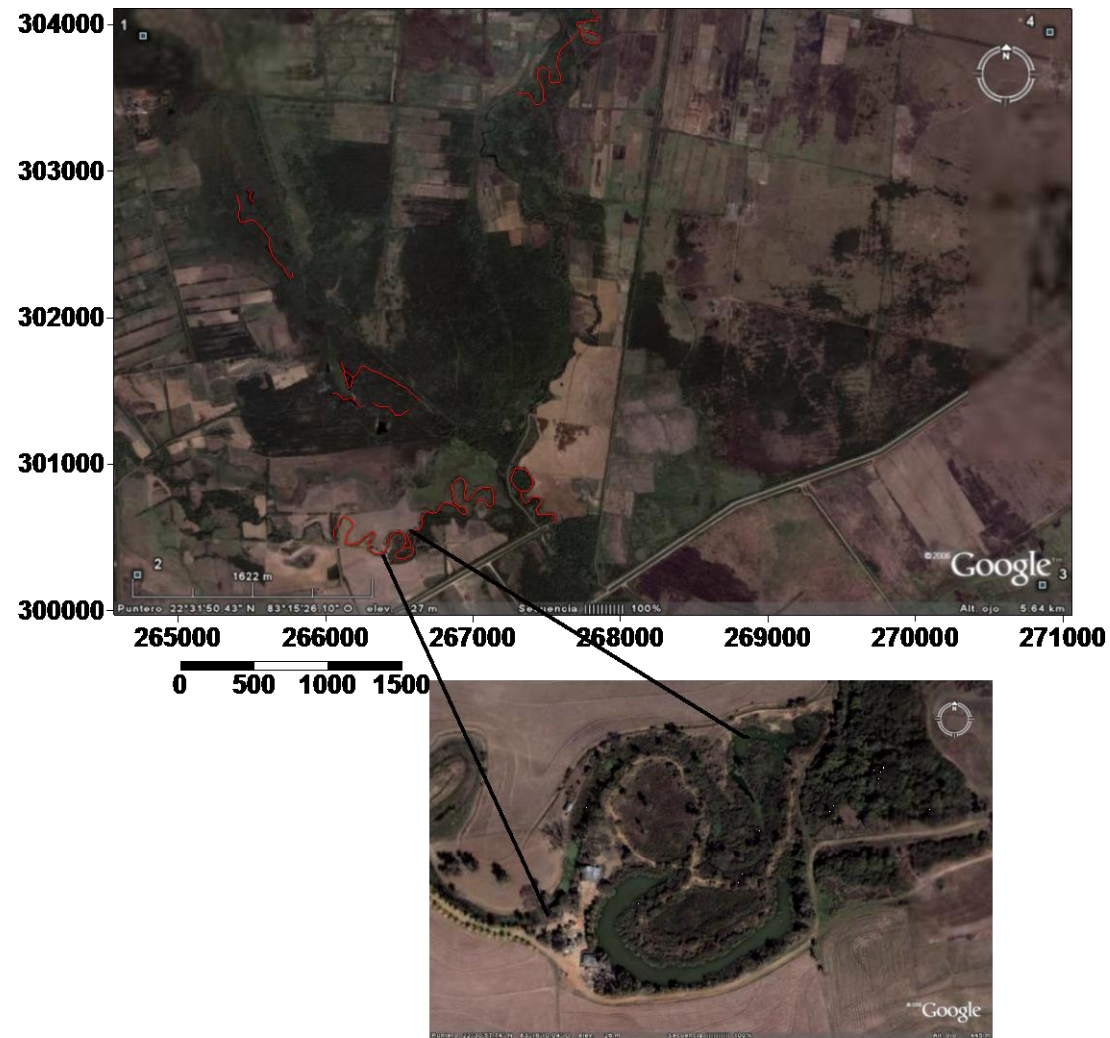


Figura IV. 19– Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de meandros activos y abandonados ubicados al SW del municipio de los Palacios a 7.79 Km. (foto 1). Obsérvese en la (foto 2) ampliada, un meandro abandonado. Perteneciente al sector 23 (cuenca los palacios) porción meridional.

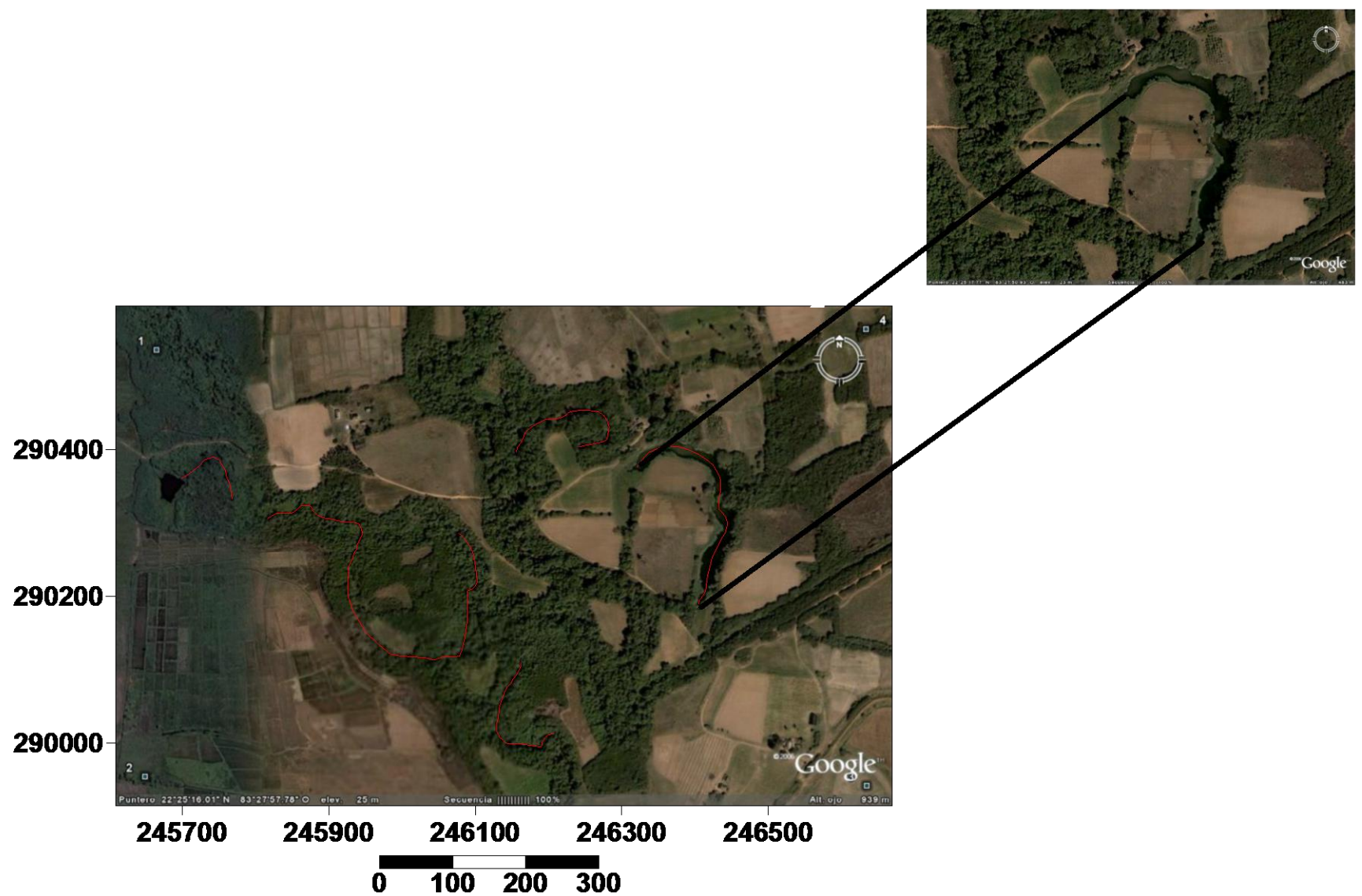


Figura IV. 20- Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de cauce abandonado y ríos activos ubicados al S-E del municipio de Consolación del Sur a 10.14 Km. (foto 1). Obsérvese en la (foto 2) ampliada el cauce abandonado. Correspondiente al sector 15 (cuenca Hondo) porción central de la región de estudio.

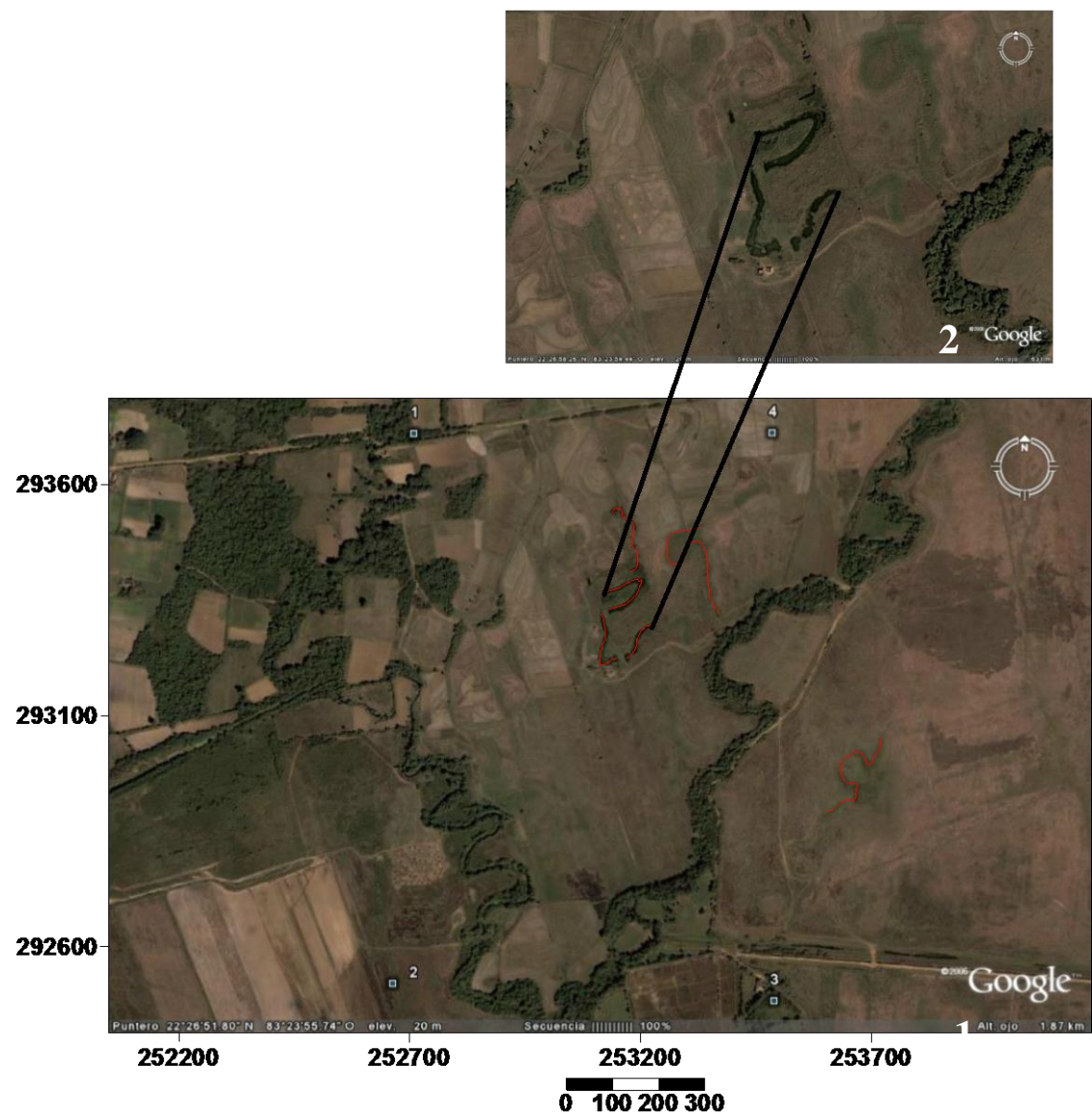


Figura IV. 21- Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de cauces abandonados ubicados al S-SE del municipio de Consolación del Sur a 12.25 Km. (foto 1). Obsérvese en la (foto 2) ampliada el cauce abandonado. Correspondiente también al sector 15 (cuenca Hondo).



Figura IV. 22- Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de cauce abandonado y meandro activo ubicados al S del municipio de San Juan y Martínez a 4.84 Km. Perteneciente al sector 2 (cuenca San Juan y Martínez).

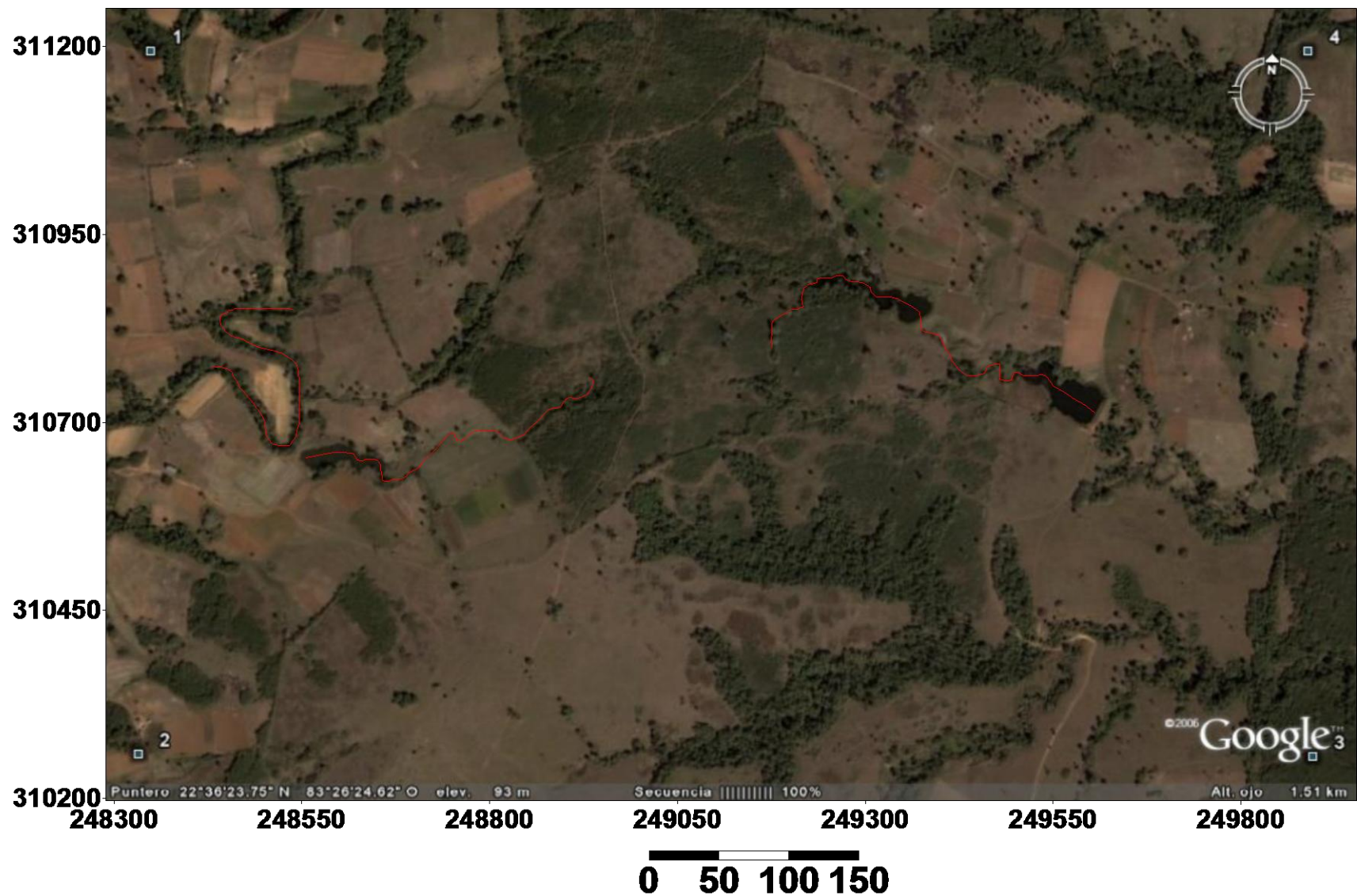


Figura IV. 23- Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de alineación de lagunas y meandro activo ubicados al NE del entronque de Herradura a 4.12 Km. Correspondiente al sector 19 (cuenca S/N) zona pre-montañosa.

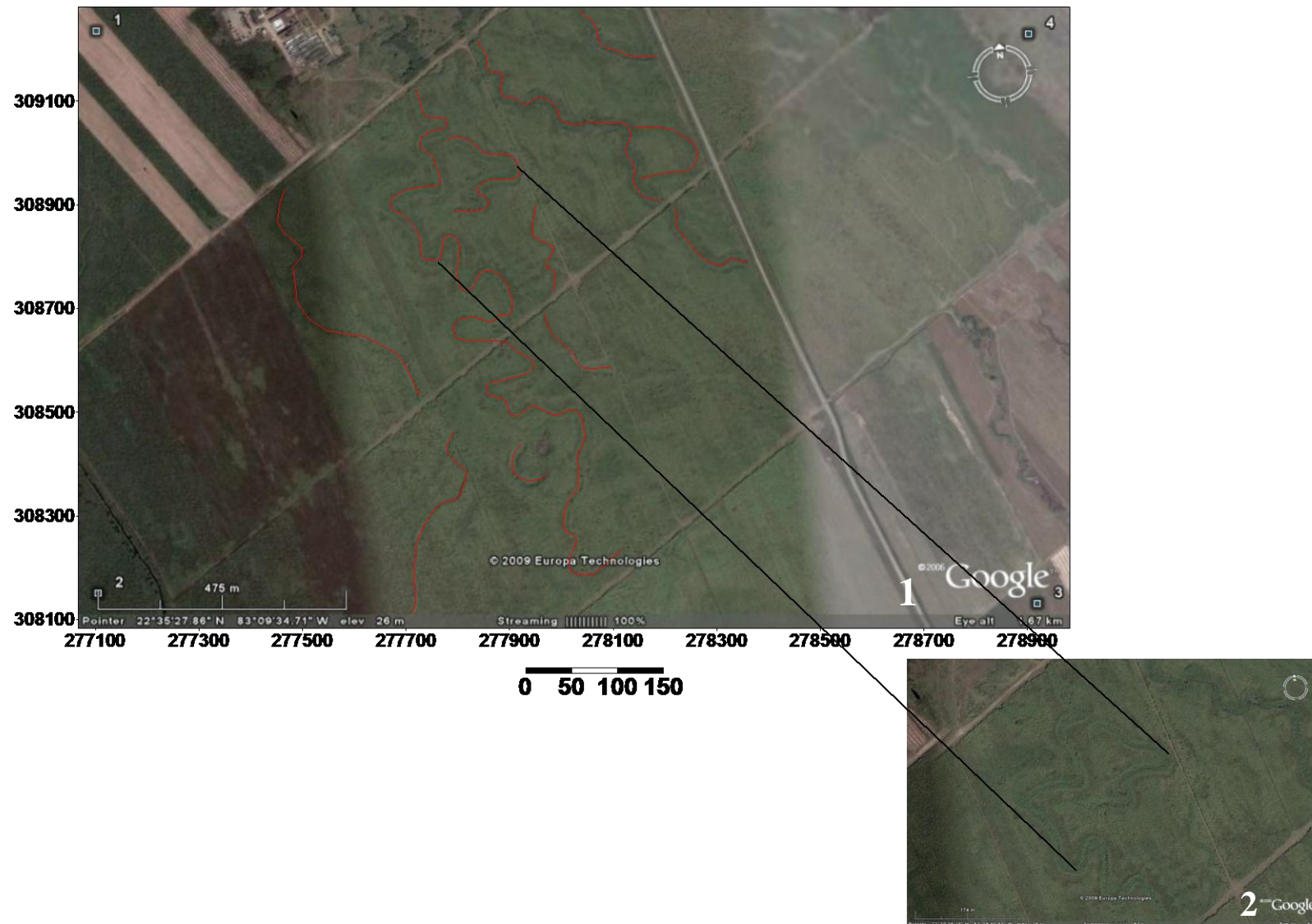


Figura IV. 24- Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de posibles cauces enterrados detectados por la vegetación, ubicados al E del municipio de los Palacios a 9.29 Km. (foto 1). Obsérvese en la (foto 2) la forma de rosa de los posibles cauces enterados. Sector 24 (Cuenca Bacunagua) zona central de la región estudiada.

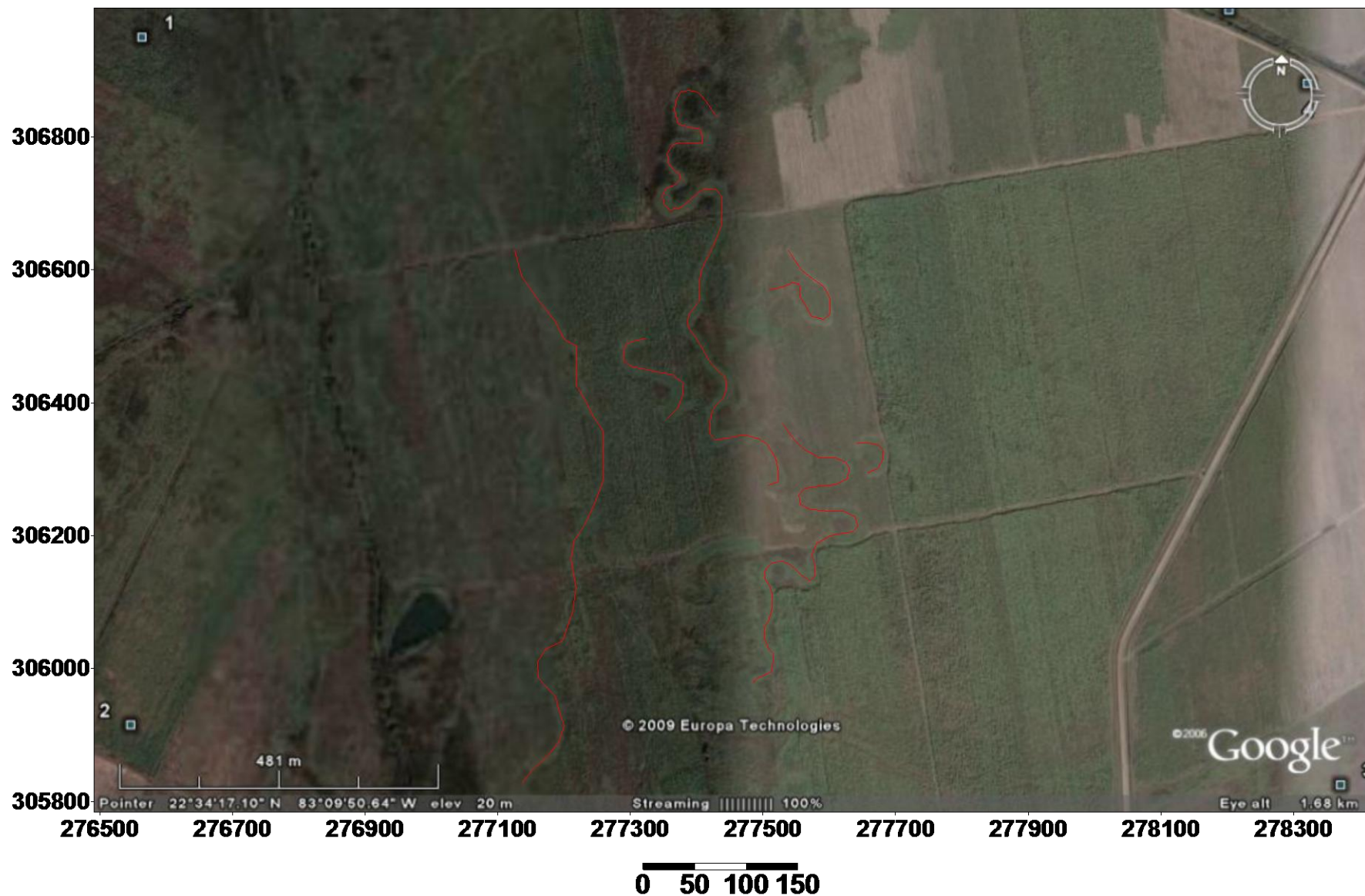


Figura IV. 25- Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de posibles cauces enterrados detectados por la vegetación, ubicados al E del municipio de los Palacios a 8.79 Km. Perteneciente también al sector 24.



Figura IV. 26- Imagen satelital tomada del Google Earth. Cartografía de meandros activos y abandonados, ubicados al S del municipio de San Juan y Martínez a 4 Km. (foto 1). Obsérvese en la (foto 2) el meandro activo y más a la izquierda el meandro abandonado (estrangulamiento). Sector 2 (cuenca San Juan y Martínez).

Conclusiones

1. El estudio de favorabilidad en plataforma SIG confirmó el alto potencial de la zona de estudio para hospedar nuevos yacimientos de grava y arena asociados a la red de drenaje, especialmente en la parte central y centro occidental de la llanura, por debajo del borde de la premontaña.
2. Como resultado del pronóstico se identificaron 26 sectores o áreas favorables para la ocurrencia de depósitos de grava y arena, los cuales están asociados a 10 cuencas hidrográficas.
3. Se comprobó, mediante el uso de las fotos satelitales (Google Earth), que en la mayoría de los sectores revelados durante el procesamiento se manifiestan diferentes formas deposicionales (cauces abandonados o paleocauces, colleras o brazos muertos, meandros abandonados y activos barras marginales etc.) que reafirman la favorabilidad de las áreas escogidas.
4. Para estudios de pronóstico de arena de origen aluvial se demostró la utilidad del empleo combinado de fotos satelitales, información geológica, suelos, datos morfométricos y la espectrometría gamma (canal del potasio).
5. Se demostró la utilidad de la espectrometría gamma, específicamente del canal del potasio, para delimitar las zonas cubiertas por sedimentos aluviales, valorar el grado de desarrollo de la llanura de inundación, identificar zonas de capturas o piratería fluvial y valorar la dirección de migración de los cauces fluviales.
6. El análisis de la red de drenaje demostró la influencia que ejerce la litología sobre la configuración y densidad del drenaje.
7. La presencia de dos dominios direccionales en las corrientes superficiales de diferentes ordenes: NW-SE predominante y NE- SW subordinado, unido a la dirección de las anomalías detectadas y su correspondencia con los sistemas de fallas cartografiados en el mapa geológico 1:100 000, demuestra que el drenaje, en cierta medida, está controlado estructuralmente.

Recomendaciones

1. Realizar trabajos de campo en las zonas clasificadas como muy favorables para valorar sus potenciales reales.
2. Emplear otros métodos de integración para lograr un mejor pronóstico.
3. Estudiar la influencia de los movimientos neotectónicos en la evolución de los valles fluviales y en la migración de los cauces.
4. Realizar estudios encaminados a determinar la potencia y la granulometría de los depósitos pro-aluviales que cubren la pre-montaña con vistas a evaluar sus potencialidades

Referencias bibliográficas

- Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F. y Wright, D.F. (1990). "Statistical pattern integration for mineral exploration. In: Gaál, G. and Merriam", D.F.(Eds.), Computer Applications in Resource.
- Barrios, E., J. Marrero, A. Portuondo, R. Nuñez, R. Placeres (1988). "Levantamiento geológico a escala 1:100 000 y búsqueda acompañante Pinar Sur", Fondo Geológico Nacional, Pinar del Río, Cuba.
- Bliss, J. D., (1993): Modelling sand and gravel deposits –initial strategy and preliminar examples, US geological survey report 93-200, p. 31.
- Bliss, J. D., (1995): "Agregat Modelling and assessmente", Aggergate forum, BC,
- Bobrowsky, P. T y Manson G. K. 1996. Modeling sand and gravel deposits and aggregate resource potential. Aggregate resources - A Global perspective p 231-253.
- Bonham-Carter, G.F., (1994). "Geographic Information Systems for Geoscientists, Modelling with GIS", Pergamon, Ontario, 398 pp.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P. y Wright, D.F., (1988). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 54, no. 11, p. 1585-1592. Canadá.
- Carranza, E. J. M. (2002). "Geologically-constrained Mineral Potential Mapping" Tesis Doctoral, ITC Delft, The Netherlands, 474 p.
- Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri,., Salvini, F., (1986). "An approach to the quantitative analysis of the relations between drainage pattern and fracture trend", International Geomorphology II, 49-68.
- Deffontaines, B., O. Lacombe, J. Angelier, H. T. Chu, F. Mouthereau, C. T. Lee, J. Deramond, J.F. Lee, M.S. Yu, and P.M. Liew,(1997)." Quaternary transfer faulting in Taiwan Foothills: Evidence from a multisource approach", Tectonophysics, 274, 61-82.
- Deffontaines, B.; Chotin, P.; Aït Brahim, L.; Rozanov, M., (1992). "Investigation of active faults in Morocco using morphometric methods and drainage pattern analysis", International Journal of Earth Sciences , Volume 81, Number 1, Berlin.

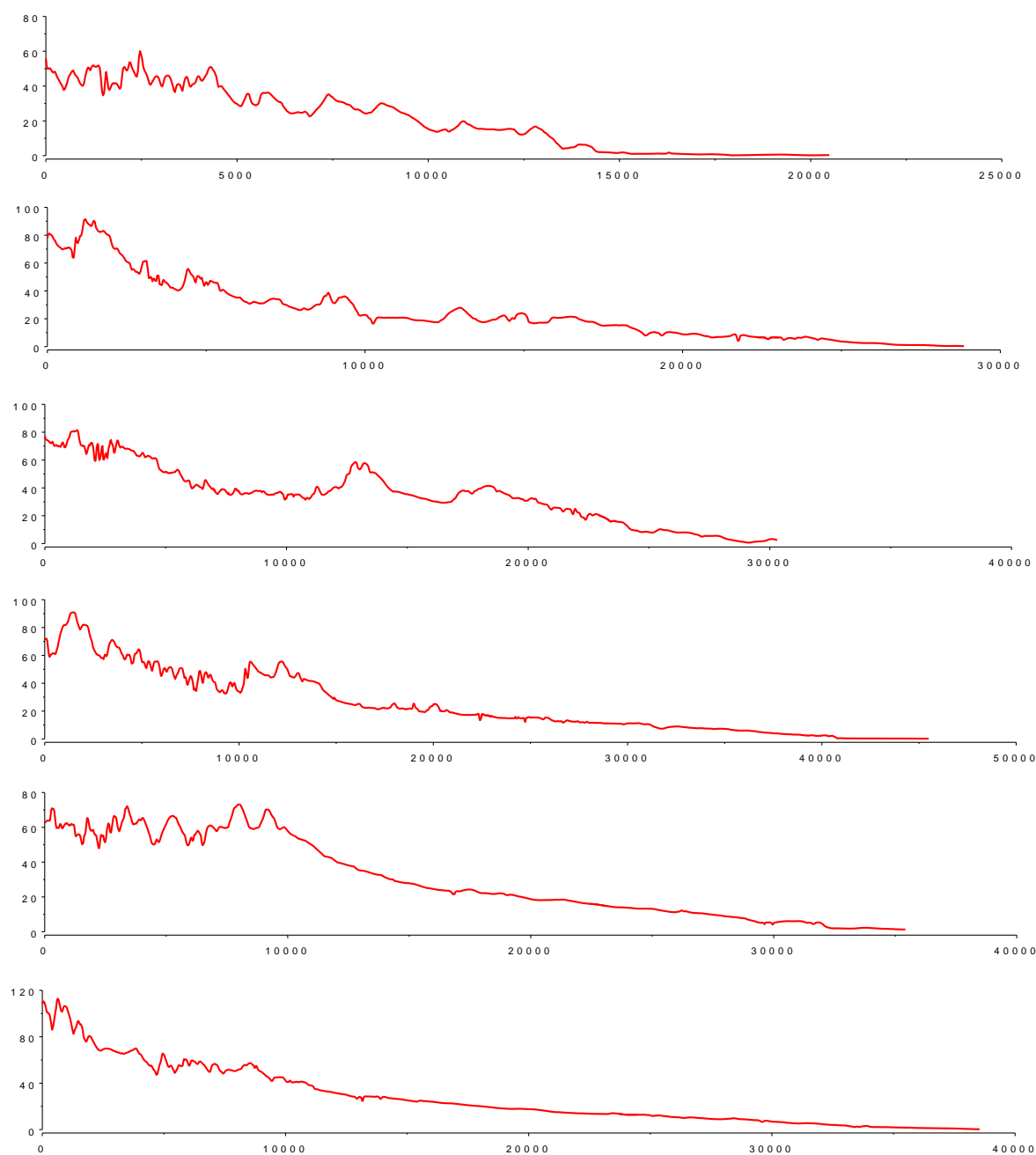
- Denis, R. E. Sobrino, R. Reyes, J.L Mederos, R. Fernández, E. Borrego, D. Reyes, P. Lazo, E. Estévez, O. Díaz (2009), "Investigaciones geológicas para arena de construcción en paleocauces fluviales de la cuencas de los ríos Hondo, San Diego y los Palacios, en la Llanura Sur de Pinar del Río", III Convención Cubana de Ciencia de la Tierra "Geociencias 2009", La Habana, 610-613.
- Denis, R., E. Sobrino (2006). "Reconocimiento geológico de arena para construcción en las cuencas de los ríos San Diego y Los Palacios", Informe Geológico, ONRM, La Habana, Cuba.
- Denis, R., Sobrino, E. (2006). "Reconocimiento geológico de arena para construcción en la cuenca del río Hondo", Informe Geológico, ONRM, La Habana, Cuba.
- Derruau, M. (1970). Geomorfología, Ediciones Ariel, S. A., Barcelona, 78 p.
- Díaz, S., (2002). "Detección de cambios en la geomorfología costera del litoral La Coloma a través del procesamiento de imágenes y el uso de SIG", Tesis de Maestría, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, 77 p.
- Gallardo, F. (1978). "Búsqueda de arena de construcción en San Cristóbal y zona Jeneles, sur de Candelaria, Informe Geológico", ONRM, La Habana, Cuba.
- Gorshokov, G. y Yakushova, G. (1970). Geología General, Editorial Mir, Moscú, 126p.
- Harris, J. R., Wilkinson, L., Heather, K., Fumerton, S., Bernier, M. A., Ayer, J. y Dahn, R., (2001). "Application of GIS Processing Techniques for Producing Mineral Prospectivity Maps—A Case Study: Mesothermal Au in the Swayze Greenstone Belt", Ontario, Canada, Natural Resources Research, Vol. 10, No. 2, p91-123.
- Hartman, R., I. Malone (1958). "Fotogeología".
- Hernández, J.; Díaz, A.; Navea, I., (1987). Informe de Búsqueda orientativa y detallada de arena para la construcción al Oeste de Guane.
- Hernández, R. D., (1999). Caracterización de las salinidades en el acuífero Neógeno- Cuaternario de Guane.
- Klen, L., J. Flimel, R.R. Gavilán (1968). "Informe sobre la búsqueda de arena para construcción en el curso del río Cuyaguatzeje", Fondo Geológico Nacional, Pinar del Río, Cuba.

- Knepper, D.H.; Langer W.H. and Miller S.H., (1994). "Remote sensing and airborne geophysics in the assessment of natural aggregate resources".
- Lamadrid, J. y Horta, R. (1977). Geomorfología, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 37 p,44 p.
- Mederos, J., E. Estévez, R. Denis, E. Sobrino (2009)."Perspectivas de arena para construcción en los paleocauces de la Llanura Sur de Pinar del Río", III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra"Geociencias 2009", La Habana, 528-565.
- Mederos, J.L., (2007)."Evaluación de las perspectivas de arena para construcción en paleocauces de la porción oriental de la provincia de Pinar del Río", Tesis presentada en Opción al Título Académico de Máster en Geología (Mención Yacimientos Minerales), Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, 3 p.
- Moreno, A. (1987). "Paleocauces. Nueva fuente de materia prima arenosa en Cuba", Selección de Artículos No 3, Centro de Investigaciones del MICONS, La Habana, Cuba.
- Navea, I., O. Quiñones, R. Gonzáles, S. Fajardo (1990)." Informe de prospección y explorativa de arena para construcción en los márgenes del río Cuyaguaje, Fondo Geológico Nacional, Pinar del Río, Cuba.
- Obregón, P.(1992)." Estudio de las areniscas de la parte alta de la de la Fm. San Cayetano en Cinco Pesos, Sierra del Rosario. Comparación con similares de otras localidades de las Cordillera de Guaniguanico", Tesis de Diploma presentada en opción al Título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, 11 p.
- Parvis, M. (1950). " Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks", Photogrammetric Engineering, Vol.16, No.3.
- Porwal, A., (2006). "Mineral Potential Mapping with Mathematical Geological Models", Tesis Doctoral, University of Utrecht, Utrecht, The Netherlands, 289 p.
- Richards, J. Peel D. 2003. The Application of Sustainable Development Principles to the Alberta Aggregates Resource Sector. Explor. Mining Geol., Vol. 12, No. 1-4, p79–95.
- Singer, D. A.; Cox, D. P., (1988): Application of mineral deposits model to resource assessment, US Geological survey Yearbook.

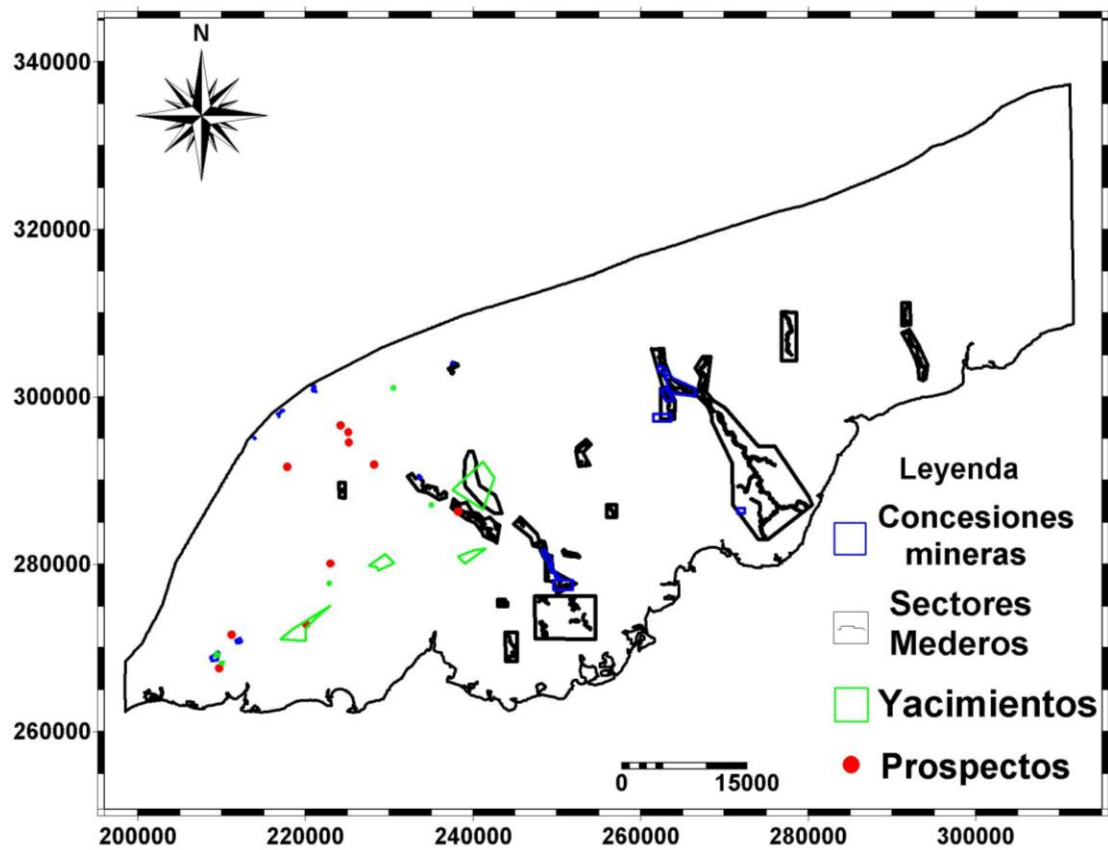
- Socas, Y. (2003). "Regionalización hidrogeológica de la Provincia de Pinar del Río. Escala 1:250000. Un nuevo enfoque", Tesis de Diploma presentada en opción al Título de Ingeniero Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río, Cuba, 4 p.
- Strahler, A. N., 1957. "Quantitative analysis of watershed geomorphology", Transactions of American Geophysical Union 38, 913-920.

Anexos

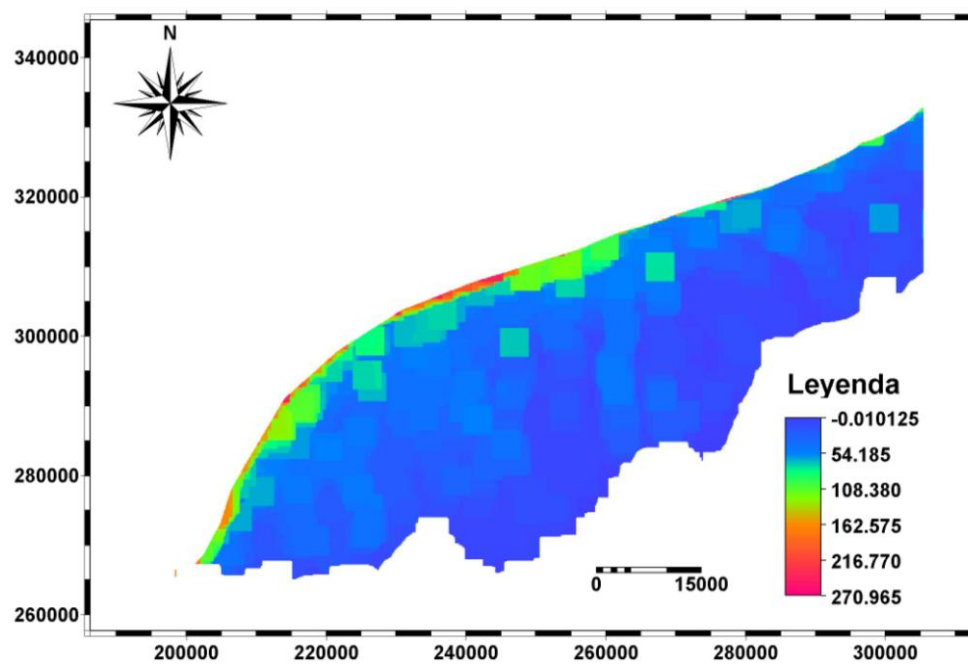
Anexo 1: Perfiles topográficos de la región de estudio.



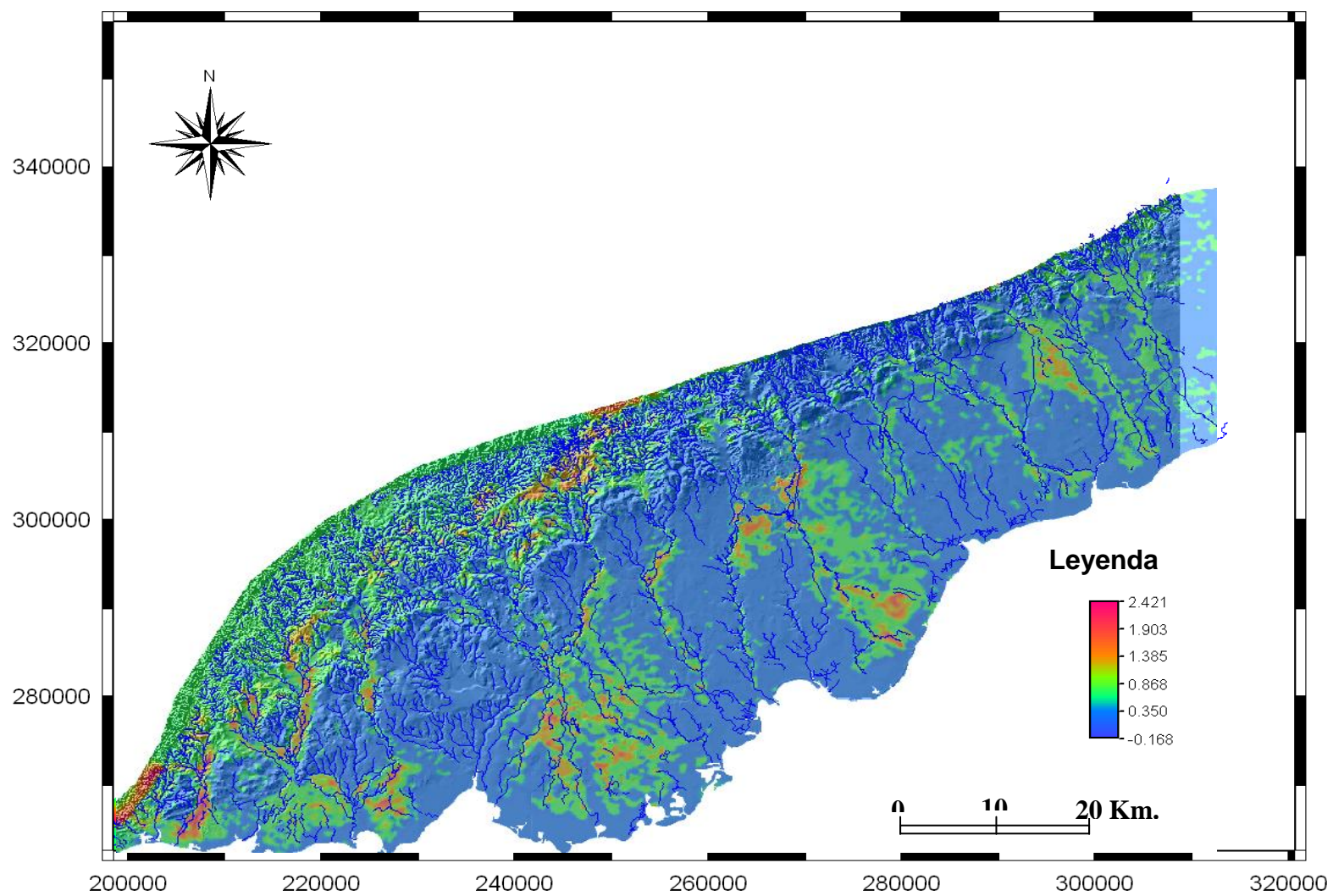
Anexo 2: Mapa de principales yacimientos minerales, prospectos y concesiones mineras.



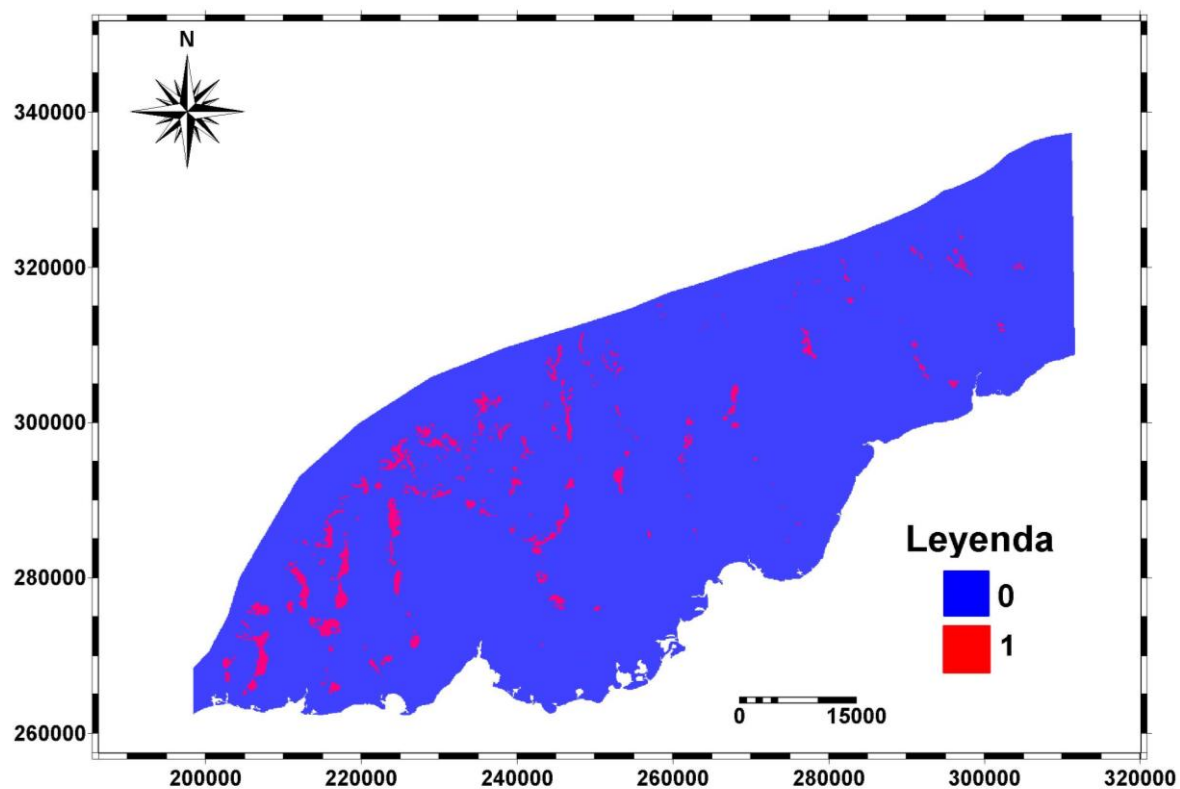
Anexo 3: Mapa de disección vertical, elaborado a partir del MDT.



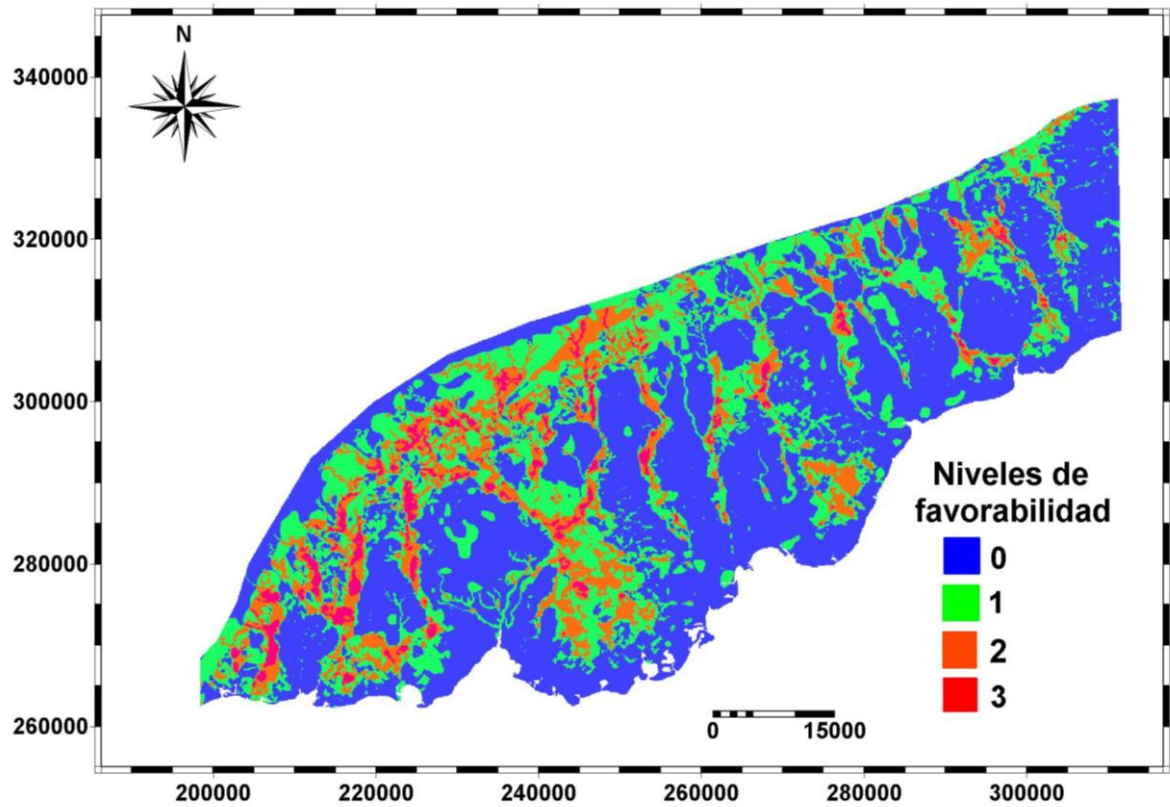
Anexo 4: Mapa espectrométrico del canal del potasio con la red fluvial.



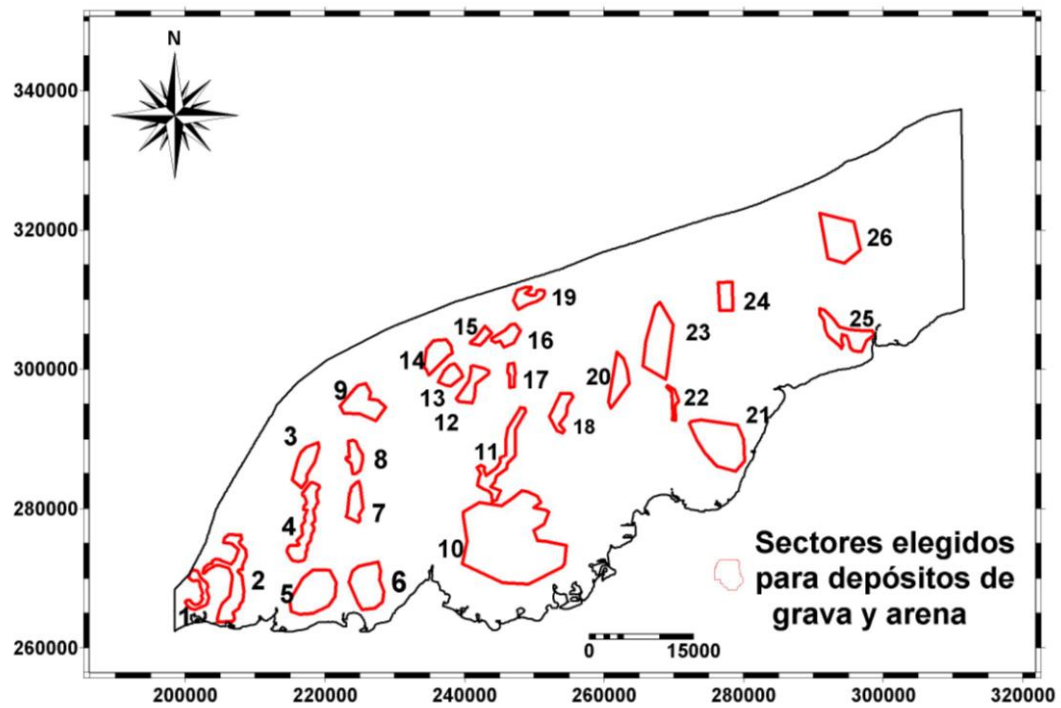
Anexo 5: Mapa pronóstico para depósitos de grava y arena aplicando el método de lógica booleana.



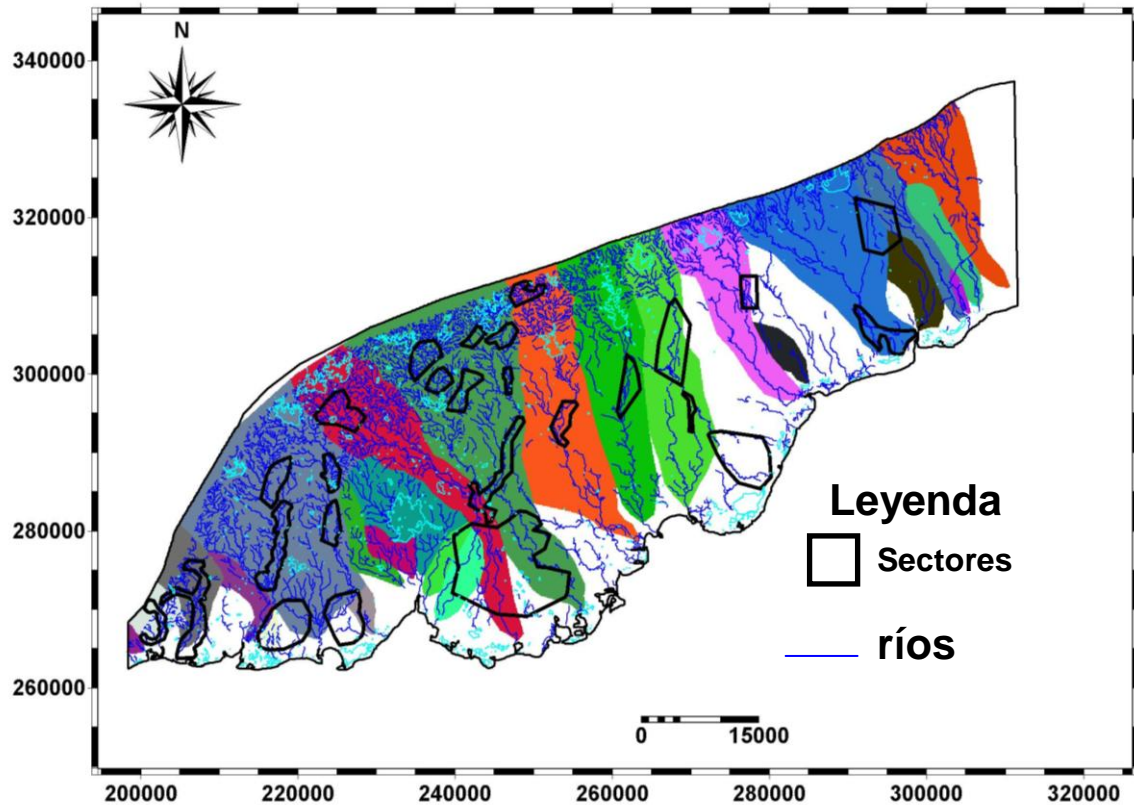
Anexo 6: Mapa pronóstico para depósitos de grava y arena aplicando el método de superposición indexada (suma algebraica).



Anexo 7: Mapa con los sectores elegidos por los autores.



Anexo 8: Mapa con los sectores elegidos por los autores perteneciente a 10 cuencas.



Cuencas

	San Juan (Bayate)		San Diego		S/N
	Jejenes		S/N		Arroyo Ocuja
	Santa Isabel		Hondo		S/N
	Los Colorados		Ajiconal		Guama
	San Cristobal		De Colen (Encino)		Juan Rojas
	Bacunagua		S/N		San Juan y Martinez
	Los Palacios		Brazo de Enrique		Galafre
	S/N		S/N		Ramones
	S/N				

Cuenca	Área	Hmáx	Hmed	Densidad
Ramones	13.000	380.000	74.700	2.000
Galafré	63.650	383.000	88.800	1.600
San Juan y Martínez	127.310	451.000	10240.000	60.000
Juan Rojas	22.550	43.000	19.650	79.000
Guamá	545.040	451.000	79.700	1.000
Arroyo Ocuja	37.620	38.000	19.300	1.300
De Colón (Encino)	110.350	61.000	29.000	1.100
Brazo de Enrique (Madre Vieja)	16.550	36.000	15.800	69.000
Ajiconal	332.400	330.000	89.000	1.100
Hondo	577.680	424.000	10870.000	1.300
Herradura	303.000	511.000	53.000	82.000
San Diego	441.750	671.000	99.500	70.000
Los Palacios	245.150	674.000	12500.000	80.000
Bacunagua	153.250	593.000	82.300	86.000
San Cristobal	31.720	34.000	13.800	58.000
San Cristóbal	424.150	665.000	16200.000	78.000
Santa Isabel (Sabanalamar)	40.500	30.000	30.000	59.000
Los Colorados	106.780	520.000	10000.000	86.000
Candelaria	14.300	23.000	12.000	1.200
Jejenes	56.300	52.000	17.700	93.000
San Juan (Bayate)	200.750	560.000	13300.000	1.300

Anexo 9: Mapa con los sectores elegidos por Mederos et al. (2009), con el pronóstico reclasificado.

