

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS EFECTOS MORFOLÓGICOS Y
SEDIMENTOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCIÓN
DE PUENTES APLICADO AL RÍO MAGDALENA Y EL PUENTE
GUILLERMO GAVIRIA CORREA**



LAURA MARGARITA AYALA BLANCO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2007**

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS EFECTOS MORFOLÓGICOS Y
SEDIMENTOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCIÓN DE
PUENTES APLICADO AL RÍO MAGDALENA Y EL PUENTE GUILLERMO
GAVIRIA CORREA**

LAURA MARGARITA AYALA BLANCO

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil.

Modalidad: Proyecto de Investigación.

Directores de Proyecto:

Ing. LEONARDO DAVID DONADO

Ing. JAIME SUAREZ DIAZ

Profesores de la Escuela de Ingeniería Civil.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

DEDICATORIA

Cuando uno se traza metas en la vida, encuentra en el camino muchos obstáculos que te hacen pensar en abandonar tus ideales pero gracias a DIOS contamos con personas que con su ejemplo te invitan a continuar.....

A ti abuelita, porque todo lo que soy te lo debo, por tus consejos, desvelos, por demostrarme tanto amor, porque te convertiste en mi mamá.

A Mi papá por creer en mí y apoyarme en todos mis proyectos.

A mi mamá porque siempre ha estado a mi lado.

A un gran amigo, Ingeniero Miguel Silva Monsalve, por creer en mi y en mi trabajo.

“Cuando una persona desea realmente algo, el universo entero conspira para que pueda realizar sus sueños. Basta con aprender a escuchar los dictados del corazón y a descifrar un lenguaje que esta más allá de las palabras, el que muestra aquello que los ojos no ven.”

“PAULO COELHO”.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos por su valiosa colaboración brindada durante el desarrollo de este proyecto a:

Ingeniero Jaime Suárez Díaz, por la oportunidad de compartir conmigo todo su conocimiento, al Ingeniero Leonardo David Donado por su paciencia y compromiso a su trabajo. Sin ustedes no se hubiera podido culminar este proyecto.

Ingeniero Dagoberto Rocha (INVIAS), por su desinteresada colaboración.

Al personal de Geotecnología Ltda y en especial al Ing. Miguel Silva Monsalve.

A ellos y a muchas personas que se me escapan en estos momentos gracias una vez más.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	15
1. CARACTERISITICAS DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA	
16	
2. MORFOLOGIA DEL RIO MAGDALENA	18
2.1 ASPECTOS GENERALES	18
2.2 GEOLOGÍA GENERAL	20
2.3 GEOLOGÍA DEL SITIO DEL PONTEADERO	21
2.3 FORMACIÓN DE ISLAS	23
2.4 FORMACIÓN DE BARRAS	32
2.5 LLANURA DE INUNDACIÓN	64
2.6 ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO	64
3. OBRAS SOBRE EL RÍO MAGDALENA Y SUS ORILLAS	65
4. THALWEG	67
4.1 LOCALIZACIÓN HISTÓRICA DEL THALWEG EN LA ZONA DE INFLUENCIA	67
4.2 BATIMETRÍAS HISTÓRICAS EN EL EJE DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA.	69

4.3 BATIMETRÍAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA.	71
4.4 ANÁLISIS DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS	73
5. PROBLEMAS GENERADOS POR LA INTERVENCIÓN ANTRÓPICA	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFIA	85
ANEXOS	86
ANEXO 1. PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA	87
ANEXO 2. ZONA DE INFLUENCIA PUNTAS CARMELITAS-ISLA CUATRO BOCAS, BARRANCABERMEJA-SANTANDER.	88
ANEXO 3. DIRECCIONAMIENTO DEL THALWEG DESPUES DE LA CONSTRUCCION DE LAS PANTALLAS SUMERGIDAS EN EL FONDO DEL RIO MAGDALENA.	89
ANEXO 4. THALWEG HISTORICO ZONA DE INFLUENCIA.	90
ANEXO 5. FOTOGRAFÍAS AÉREAS: FORMACION DE ISLAS Y BARRAS AGOSTO DE 2004 DURANTE LA CONSTRUCCION DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA.	91
ANEXO 6. FOTOGRAFÍAS AÉREAS: FORMACIÓN DE ISLAS Y BARRAS ENERO DE 2007 DESPUES DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA.	92
ANEXO 7. FOTOGRAFÍAS AÉREAS: COMPARACIONES DE BARRAS E ISLAS AGOSTO 2004-ENERO 2007.	93

TABLA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Puente Guillermo Gaviria Correa	16
Figura 2. Puerto Multimodal	17
Figura 3. Formación de Barras e Islas, Magdalena Medio	18
Figura 4. Formación Isla Cuatro Bocas.	24
Figura 5. Fotografía aérea 1943.	25
Figura 6. Fotografía aérea 1949.	26
Figura 7. Fotografía aérea 1950.	27
Figura 8. Fotografía aérea 1957.	28
Figura 9. Fotografía aérea 1981.	29
Figura 10. Fotografía aérea 1992.	30
Figura 11. Sedimentación frente al Muelle Público.	31
Figura 12. Fotografía Galán, antes de la construcción del puente.	33
Figura 13. Fotografía Diciembre de 2003.	34
Figura 14. Fotografía 23 de Enero de 2004.	35
Figura 15. Fotografía 25 de Junio de 2004.	36
Figura 16. Fotografía 19 de Noviembre de 2004.	37
Figura 17. Fotografía 22 de Diciembre de 2004.	38
Figura 18. Fotografía 27 de Enero de 2005.	39
Figura 19. Fotografía 28 de Febrero de 2005.	40
Figura 20. Fotografía 29 de Marzo de 2005.	41
Figura 21. Fotografía 4 de Abril de 2005.	42
Figura 22. Fotografía Mayo de 2005.	43
Figura 23. Fotografía 1 de Julio de 2005.	44
Figura 24. Fotografía 11 de Julio de 2005.	45

Figura 25. Fotografía 1 de Agosto de 2005.	46
Figura 26. Fotografía 27 de Septiembre de 2005.	47
Figura 27. Fotografía Septiembre 28 de 2005.	48
Figura 28. Fotografía 28 de Octubre de 2005.	49
Figura 29. Fotografía 2 de Noviembre de 2005.	50
Figura 30. Fotografía 21 de Diciembre de 2005.	51
Figura 31. Fotografía Marzo de 2006.	52
Figura 32. Fotografía Junio de 2006.	53
Figura 33. Fotografías Octubre de 2006.	54
Figura 34. Fotografía Diciembre 30 de 2006. Aguas Arriba.	55
Figura 35. Fotografía Diciembre 30 de 2006. Aguas abajo.	56
Figura 36. Fotografía aérea.	57
Figura 37. Avance de la Sedimentación durante la construcción del puente.	58
Figura 38. Fotografía aérea 1957.	59
Figura 39. Fotografía aérea 1964.	60
Figura 40. Fotografía aérea 1966.	61
Figura 41. Fotografía aérea 1967.	62
Figura 42. Noviembre de 1987 con base planimétrica de 1986.	63
Figura 43. Avance de la Sedimentación durante la construcción del Puente.	73
Figura 44. Fotografía aérea 1923.	76
Figura 45. Fotografía aérea 1973.	77
Figura 46. Fotografía aérea 1998.	78
Figura 47. Localización del dique de Yondó en la orilla del Río Magdalena de 1943	79
Figura 48. Fracturamiento del dique de Yondó en Puntas Carmelitas.	80
Figura 49. Socavación y erosión de la base del talud que conforma la orilla.	80

Figura 50. Erosión de la orilla en Punta Carmelitas.	81
Figura 51. Socavación del tablestacado Muelle 1 Refinería (Agosto 2006)	82
Figura 52. Socavación del tablestacado del Nuevo Puerto Modular. Diciembre de 2006	82

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 2.1. 1 Estación Maldonado.	19
Tabla 2.1. 2 Caudal estimado para diferentes periodos de retorno.	20
Tabla 2.2. 1 Perfil Estratigráfico Orilla Derecha	22
Tabla 2.2. 2 Perfil Estratigráfico del fondo del Río	22
Tabla 2.2. 3 Perfil Estratigráfico Orilla Izquierda.	23
Tabla 3. 1 Actividades Antrópicas en el Río Magdalena	66

LISTA DE GRAFICAS

	Pág
Gráfica 4.2. 1 Batimetrías históricas en el eje del Puente Guillermo Gaviria Correa	70
Gráfica 4.2. 2 Batimetrías Durante la construcción del Puente Guillermo Gaviria Correa.	72

RESUMEN

TÍTULO:

ANÁLISIS CUALITATIVO DE LOS EFECTOS MORFOLÓGICOS Y SEDIMENTOLÓGICOS RELACIONADOS CON LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES APLICADO AL RÍO MAGDALENA Y EL PUENTE GUILLERMO GAVIRA CORREA.*

AUTOR: AYALA BLANCO, Laura Margarita.**

PALABRAS CLAVES:

MORFOLOGIA
PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA
RIO MAGDALENA
PROCESOS ANTROPICOS.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de grado contiene un análisis cualitativo, de los efectos morfológicos y sedimentológicos que produjo la construcción del puente Guillermo Gaviria Correa, el cual se localiza entre los municipios de Barrancabermeja (Santander) y Yondó (Antioquia). Para ello se presenta un estudio desde el punto de vista evolutivo y dinámico de los cambios morfológicos: antes, durante y después de su construcción con base en: fotointerpretación aérea y digital, estudio sobre el modelo hidráulico del fondo móvil e informe de hidrológia, hidráulica y socavación. De la Universidad Nacional de Colombia, informe del asesor de Interventoría. Universidad Industrial de Santander, y el artículo: Efectos Geomorfológicos del Puente Barrancabermeja-Yondó. Ingeniero Jaime Suárez Díaz.

Las fotografías aéreas de enero del 2007, han arrojado una sedimentación considerable en el antiguo canal navegable de Yondó, (Galán) sitio actual del puente. Por otra parte los problemas de socavación del tablestacado, presentados en el año 2006 en el muelle de Refinería, ECOPETROL y el puerto modular infieren un acelerado proceso de degradación en canal navegable de Barrancabermeja, unos 6 km aguas arriba del puente.

Para mitigar estos efectos se debe efectuar un estudio batimétrico de la zona de influencia, desde puntas Carmelitas hasta la isla Bocas, con el fin de identificar la profundidad del thalweg y su sinuosidad. De esta forma se conocerá el efecto real del Puente Guillermo Gaviria Correa sobre dicha zona.

*Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Directores.
Ing. LEONARDO DAVID DONADO, Ing. JAIME SUAREZ DIAZ

ABSTRACT

TITLE:

QUALITATIVE ANALYSIS OF THE MORPHOLOGIC AND SEDIMENT TRANSPORT EFFECTS RELATED TO THE CONSTRUCTION OF BRIDGES APPLIED TO MAGDALENA RIVER AND GUILLERMO GAVIRIA CORREA BRIDGE.*

AUTHOR: AYALA BLANCO, Laura Margarita.**

KEY WORDS:

MORPHOLOGY
GUILLERMO GAVIRIA CORREA BRIDGE
MAGDALENA RIVER
ANTROPIC PROCESSES

DESCRIPTION:

This Project consists of a qualitative analysis of the morphologic and sediments transport effects produced by the construction of Guillermo Gaviria Correa Bridge, which is located between Barrancabermeja (Santander) and Yondó (Antioquia). Different studies were taken to develop this project: a study from the evolutive and dynamic point of view of the morphologic changes: before, during and after the construction based on aerial and digital photo-interpretation; a study about the hydraulic model of the mobile bed and a report about hydrology, hydraulic and scour, from National University of Colombia, report made by the assessor of interventory Industrial University of Santander, and the article: Geomorphologic Effects of the Barrancabermeja-Yondó Bridge done by Jaime Suárez Diaz Engineer.

The aerial photographies taken in January 2007, showed a considerable sedimentation in the old navigation channel of Yondó, (Galán) present site of the bridge. On the other hand, the problems of scour on the sheet pile of the harbor, present in 2006 in the port of ECOPETROL Refinery, and the modular port infer an accelerated process of degradation in navigation channel of Barranbermeja, about 6 km downstream of the bridge. In order to mitigate these effects, a study for obtaining the transversal section of the river in the zone of influence is due to carry out, from Carmelitas Point to Boca Island, with the purpose of identifying the depth of thalweg and its sinuosity. Thus, the real effect of the Guillermo Gaviria Correa Bridge on this zone will be known.

* Working investigation.

**Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Civil Engineering School. Advisors Eng. LEONARDO DAVID DONADO. Eng. JAIME SUAREZ DIAZ.

INTRODUCCION

La morfología fluvial es el resultado de la erosión, transporte y depositación de las partículas del suelo de la cuenca y los valles que transita (Suárez, 2001). Dichos cambios pueden ser el resultado de procesos naturales, basados en el principio de entropía o artificiales. Todos estos procesos dan como resultado una alteración del equilibrio dinámico en los ríos, quebradas o lagunas, generando problemas a corto, mediano y largo plazo, como lo son: los procesos acelerados de agradación o degradación, erosión, formación de islas, barras y meandros o ramificación, direccionamiento del cauce, estrechamiento del canal, disminución de la capacidad del transporte de sedimentos, cambios en los regimenes de flujo tanto aguas arriba como aguas en el caso de que existan obras que intervienen el cauce, desbordamientos, y socavación en las pilas de los puentes, entre otras.

La ubicación de un puente produce una alteración de la morfología fluvial. Esta se podría dar como un aumento en la sedimentación aguas arriba del puente, cambios en el direccionamiento de flujo aguas abajo o llegar a producir el colapso de la misma estructura (socavación). Debido a la importancia del Río Magdalena, principal arteria fluvial del país; surge la necesidad de realizar un estudio de los cambios y procesos morfológicos debido a la construcción del Puente Guillermo Gaviria Correa.

Los cambios desde la construcción del puente y su finalización son evidentes, los procesos acelerados de sedimentación es uno de los aspectos mas relevantes en este estudio. Para ello se realizó: análisis comparativo e interpretativo de fotografías aéreas: agosto 2004 y enero de 2007, descripción de las fotografías digitales durante la construcción del puente, batimetrías en el eje del puente, estudios previos a la ejecución de la obra, con la finalidad de dar a conocer los efectos negativos de está intervención antrópica y así poder suministrar las recomendaciones que podrían ayudar a mitigar este efecto.

1. CARACTERISITICAS DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA

El Puente Guillermo Gaviria Correa está construido con un sistema de dovelas o voladizos sucesivos, tiene una longitud total de 917 m; distribuidos de la siguiente forma: una luz central de 200 m, dos luces laterales de 100 m y los viaductos de la margen derecha (Barrancabermeja) y la margen izquierda (Yondó), los cuales poseen cuatro (4) y nueve (9) luces de 40 metros respectivamente y un gálibo de 15.5 m, como se muestra en la figura 1 y anexo 1. La finalidad de la construcción del puente es la comunicación de la transversal Cúcuta-Bucaramanga-Medellín y el Oriente Colombiano con el Golfo de Urabá, convirtiéndose en un factor estratégico de conectividad y desarrollo para el país.

Adicional a está obra se construye el puerto multimodal, ubicado en la margen derecha del Río Magdalena en Galán como se muestra en la figura 2, el cuál tiene como propósito mejorar el transporte de mercancías. La construcción del Puente Guillermo Gaviria correa tuvo un costo aproximado de \$44,555 millones de pesos.



Figura 1. Puente Guillermo Gaviria Correa



Figura 2. Puerto Multimodal

2. MORFOLOGIA DEL RIO MAGDALENA

2.1 Aspectos Generales

El Río Magdalena, cuya longitud aproximada es de 1590 km, recorre el país de sur a norte, teniendo su origen en el Macizo Colombiano y desembocando en el Mar Caribe, en el punto conocido como “Bocas de Ceniza”. A lo largo de sus valles medio (VMM) e inferior (VIM) se clasifica según su aspecto geomorfológico como un río sinuoso trezado desde Honda (Tolima) hasta aguas arriba de Gamarra (Cesar); ya que se presenta en él la formación de barras e islas de tipo longitudinal, transversal y lateral, como se muestra en la figura 3.

La formación de estas estructuras morfológicas se deben a la gran cantidad de sedimentos que transporta el río producto de la erosión en la cuenca, de los aportes sólidos de los diferentes afluentes y su ciclo hidrológico.

Dentro de este contexto, la zona de estudio está incluida en el Valle del Magdalena Medio (VMM), el cual se encuentra limitado entre los municipios de Nare (Antioquia) y el de La Gloria (Cesar). Debido a la complejidad del estudio se hizo necesario delimitar la zona de influencia que va desde Puntas Carmelitas hasta la Isla Cuatro Bocas en Barrancabermeja, como se muestra en el anexo 2.



Figura 3. Formación de Barras e Islas, Magdalena Medio

En la literatura de la morfología fluvial se puede encontrar una ecuación empírica para corroborar dicha clasificación geomorfológica de la zona de influencia como un río sinuoso trezado. Dicha ecuación se basa en la pendiente (i) y caudal (Q) (m^3/s).

Si $iQ^{0.44} > 0.0116$ El río se clasifica como sinuoso trezado de lo contrario en meandriforme, (Pérez,1997).

Del estudio sobre el modelo hidráulico del fondo móvil de la Universidad Nacional de Colombia (marzo 2003), se obtuvieron los datos del estudio hidráulico del Puente Guillermo Gaviria Correa.

Dicho estudio se basó en el análisis de los datos correspondientes al caudal medido diario de la estación Maldonado, su ubicación y coordenadas se pueden observar en la tabla 2.1.1 Para la consistencia de dichos datos, se empleo el programa SMADA (R) y se utilizaron diferentes tipos de distribuciones.

Tabla 2.1. 1 Estación Maldonado.

Código	Nombre Estación	Tipo	Corriente	Instalada	Susp	Serie	Coord	Coord
2315708	Maldonado	Lm	Magdalena	01/11/1975		1979-2001	7°12'17"	73°55'36"

Lm: limnimétrica.

Las distribuciones utilizadas fueron:

- 1 Normal
- 2 Log-normal de 2 parámetros
- 3 Log-normal de 3 parámetros
- 4 Pearson tipo III
- 5 Log- Pearson tipo III
- 6 Valor extremo tipo (Gumbel)

La curva de duración de caudales resulta del análisis de la serie histórica de los caudales medios diarios, en el caso de la estación Maldonado se determinaron los siguientes resultados:

- 1 El caudal medio es de $2,626 m^3/s$
- 2 E caudal máximo es de $6,860 m^3/s$ (registrado)
- 3 El caudal mínimo es de $485 m^3/s$

Para el análisis del cálculo de los caudales con diferentes periodos de retorno (Tr),

se tuvo en cuenta la distribución Log-normal de II parámetros. La cual presenta un mayor ajuste a los datos de la estación Maldonado, en la tabla 2.1.2 se puede observar los resultados.

Tr (años)	Q(m ³ /s)
2	4,870
3	5,290
5	5,739
10	6,230
25	6,820
50	7,230
100	7,620

Tabla 2.1. 2 Caudal estimado para diferentes periodos de retorno.

Pendiente del río Magdalena: 0.015% (Tomado del estudio del modelo hidráulico del fondo móvil de la Universidad Nacional de Colombia)

Aplicando la fórmula mencionada anteriormente para la clasificación de la forma del Río Magdalena en sitio del ponedero, se obtuvo el siguiente resultado.

Utilizando el caudal 7620 m³/s para un periodo de retorno de 100 años

$$iQ^{0.44} > 0.0116$$

$$0.015 * 7620^{0.44} = 0.76 > 0.0116, \text{ luego se clasifica como un río trezado.}$$

2.2 Geología General

Se presenta una litología muy similar a lo largo del Valle del Magdalena Medio (VMM) entre Barrancabermeja (Santander) y Puerto Berrio (Antioquia), La cual está conformada por las Formaciones Terciarias (Plioceno): Mesa y Real. La primera se caracteriza por presentar estratos de areniscas gris clara a blanca, de grano medio a grueso, arcillosa y friable; además contienen lentes con estratificación cruzada de conglomerados que presenta alto grado de erosión. Y la Formación Real, está compuesta por arcillolitas y areniscas que presenta una alta resistencia erosiva. (Ward y Goldsmith, 1973).

También se encuentran en Barrancabermeja afloramientos de rocas que forman controles geológicos, entre la Mesa de Barrancabermeja y el Hotel Pipatón, entre el sector Peñas Blancas y Punta Carmelitas (Yondó). (Martínez y Ramírez, 2000). Dichos controles actúan como barreras naturales contra los procesos de erosión, inundación e inciden en el direccionamiento del thalweg.

2.3 Geología del sitio del ponteadero

En el estrecho de Galán se pueden identificar depósitos aluviales y estratos de las Formaciones Magdalena y Mesa.

Orilla derecha: Esta compuesta por material de depósitos aluviales de muy baja resistencia en los niveles superiores: arcilla limosa y limo arenoso, pertenecientes a la Formación Magdalena. Subyacente a estos depósitos, existen intercalaciones de arcillolitas y arenas limosas con alta resistencia a la penetración que descansan sobre arcillolitas grises y areniscas poco cementadas de la Formación Mesa, como se muestra en la tabla 2.2.1

Orilla izquierda: Existen depósitos de arena fina gris y carmelita clara en profundidades muy considerables. Este material presenta muy baja resistencia erosiva, como se muestra en la tabla 2.2.3 y hace parte de la Formación Magdalena (Cuaternario Holoceno) la cual es producto de depósitos aluviales. Dicha formación es fácil de erosionar, siendo esta orilla la más vulnerable en épocas de avenidas o aumento en el nivel del agua.

Fondo del cauce: Presenta configuración similar a la margen izquierda, además de arcillas y arenas de grano gruesas y muy densas, que descansan sobre la Formación Mesa la cual presenta intercalaciones litológicas de alta y baja resistencia erosiva, como se muestra en la tabla 2.2.2. El proceso de erosión es producto de la turbulencia del flujo y ataca principalmente a la Formación Magdalena, estos depósitos presentan baja resistencia, lo cual permite que la velocidad del agua supere la velocidad crítica de las partículas para iniciar así con el proceso de arrastre de sedimentos (Carga de fondo, saltación o carga en suspensión)

Tabla 2.2. 1 Perfil Estratigráfico Orilla Derecha

MATERIALES	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	OBSERVACIONES	FORMACION
Arcilla limosa con arena y limo arenoso gris claro (CL Y ML)	Superficie del terreno (73.7 y 73.6)	71 a 69.6	Resistencia a la penetración estándar N=4. Resistencia a la erosión es baja y su capacidad portante es bastante limitada	Magdalena
Arcilla limosa gris clara, arcilla limosa gris oscura	71 a 69.6	53.7 a 49.1	Resistencia a la penetración estándar N= 4 a 9	Magdalena
Arcilla limosa gris clara con materia orgánica y arcilla gris oscura con rastros de materia orgánica y madera de descomposición	53.7 a 49.1	42.7 a 36.6	Resistencia a la penetración estándar N= 6 a 9	Magdalena
Estratos intercalados de arcilla limosa y arenas limosas	42.7 a 36.6	37.5 a 32.1	Resistencia a la penetración estándar N= 18 a 56	Magdalena

Tabla 2.2. 2 Perfil Estratigráfico del fondo del río

MATERIALES	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	OBSERVACIONES	FORMACION
Arena fina gris clara	69.6 a 70.5	57.4 a 59.5	Resistencia a la penetración estándar N 2 a 4	Magdalena
Arcilla limosa y limo arenoso gris oscuro con materia orgánica (CL, ML)	57.4 a 59.5	47.2 a 49	Resistencia a la penetración estándar que fluctúa entre N=2 y 16 con intercalaciones de N=32	Magdalena
Grava gruesa fina con arena gruesa a fina gris oscura	25 a 23.5;47.2 a 49	36 y 36.2	Resistencia a la penetración N=80	
Estratos intercalados de arcilla limosa gris oscura y arena de alta densidad	36.2	14.2		

Tabla 2.2. 3 Perfil Estratigráfico Orilla Izquierda.

MATERIALES	COTA INICIAL (m)	COTA FINAL (m)	OBSERVACIONES	FORMACION
Arena fina gris y carmelita clara	Superficie del terreno (73.4)	23.7-49.7	Inicialmente esta arena tiene resistencia a la penetración N=2 a 4 hasta profundidades de 4.4m. A partir de 4.4 hasta 9m N=10 a 14	Magdalena
Grava fina a gruesa en matriz de arena limosa	49.7	34.5	Resistencia mínima de N=80 y en la mayoría de los casos hay rechazo a la penetración estándar.	

Fuente: Tomado de Maldonado Ing, S.A, 1990

2.3 Formación de islas

Existen muchos depósitos que debido a su tamaño y consolidación han formado grandes terrenos aluviales conocidos como islas. La formación de estas estructuras morfológicas a lo largo de toda la zona de influencia es muy notoria: aguas arriba del puente y aguas abajo de él.

En el sector sur de Galán (aguas abajo del puente), el Río Magdalena se encuentra dividido en dos brazos: La Rompida y Berlín, debido a la formación de una isla llamada (Cuatro Bocas), como se aprecia en la figura 4. Dicha estructura morfológica ha presentado cambios considerables de configuración a través de los años, condicionando a su vez el direccionamiento del cauce en dicho sector.

Las fotografías aéreas, históricamente han revelado su evolución. En un principio se evidencia la formación de barras en proceso de consolidación, año 1943 (figura 5), 1949 (figura 6), 1950 (figura 7), 1957 (figura 8), 1981 (figura 9). En ellas el flujo discurre como un cauce variable. Pero a partir del año 1992 como se puede observar en la figura 10, las barras se han consolidado formando una geoforma lo suficientemente estable como para permitir el crecimiento de la vegetación en forma permanente y direccionando el cauce en dos únicos ramales.



Figura 4. Formación Isla Cuatro Bocas.

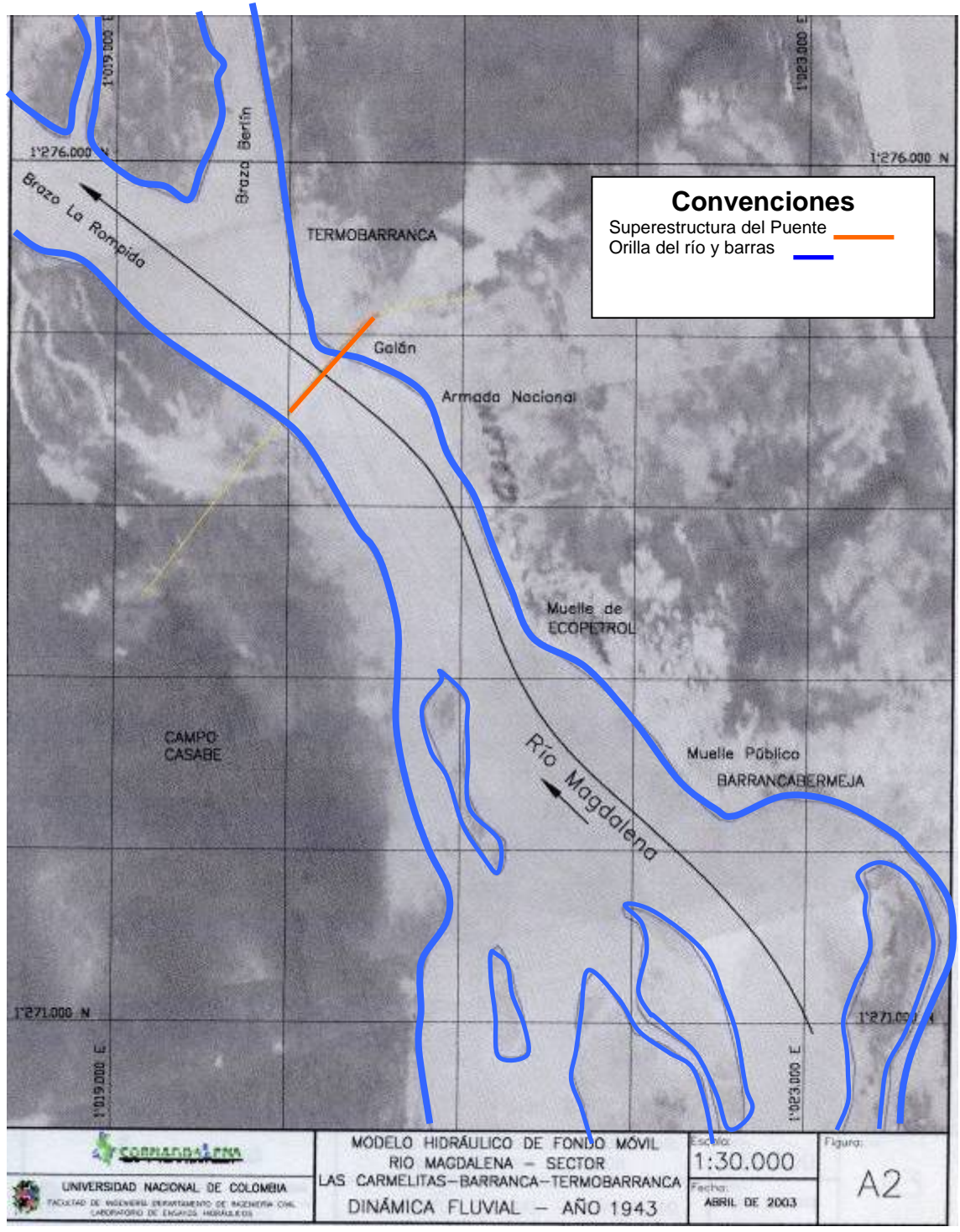


Figura 5. Fotografía aérea 1943.

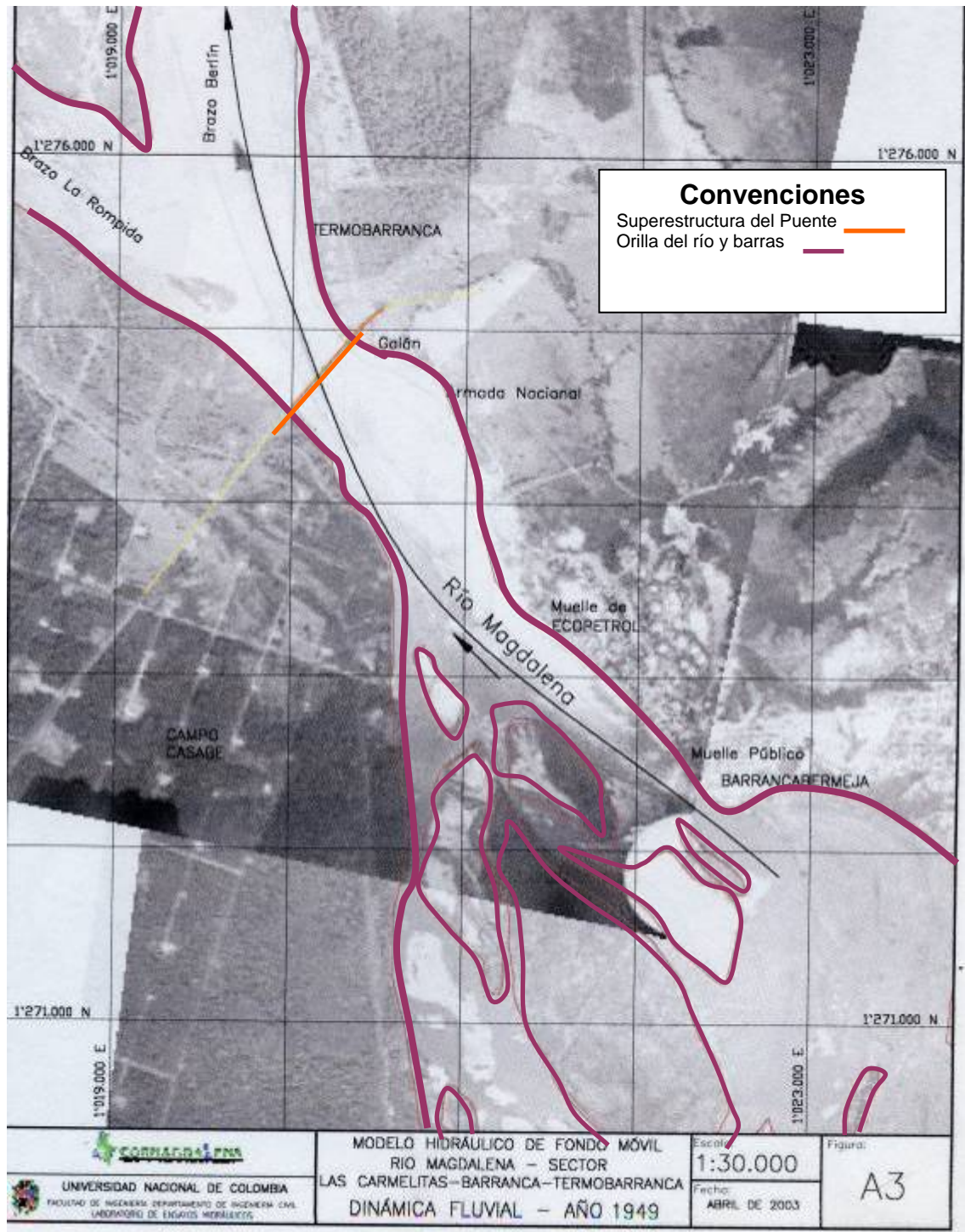


Figura 6. Fotografía aérea 1949.

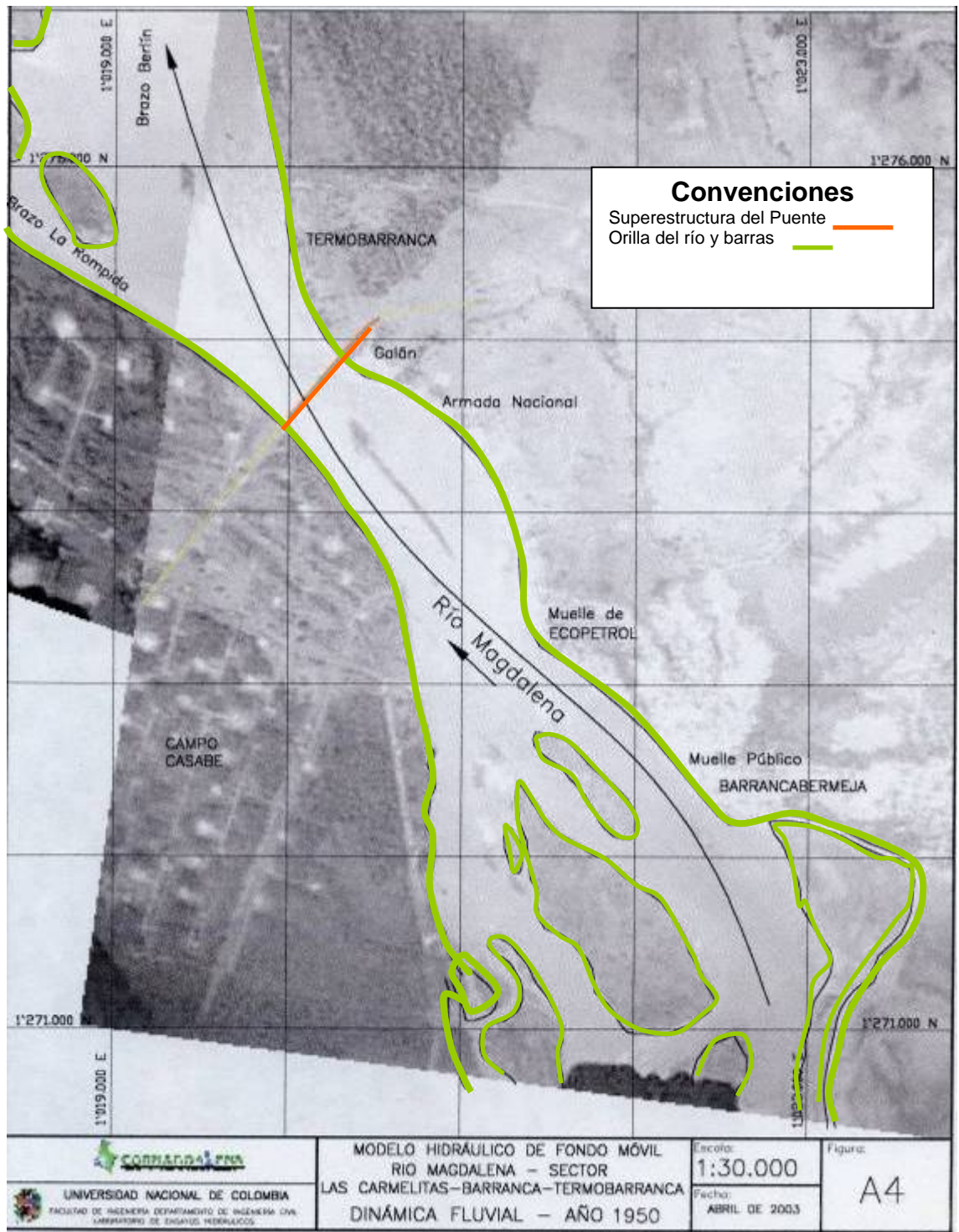


Figura 7. Fotografía aérea 1950.

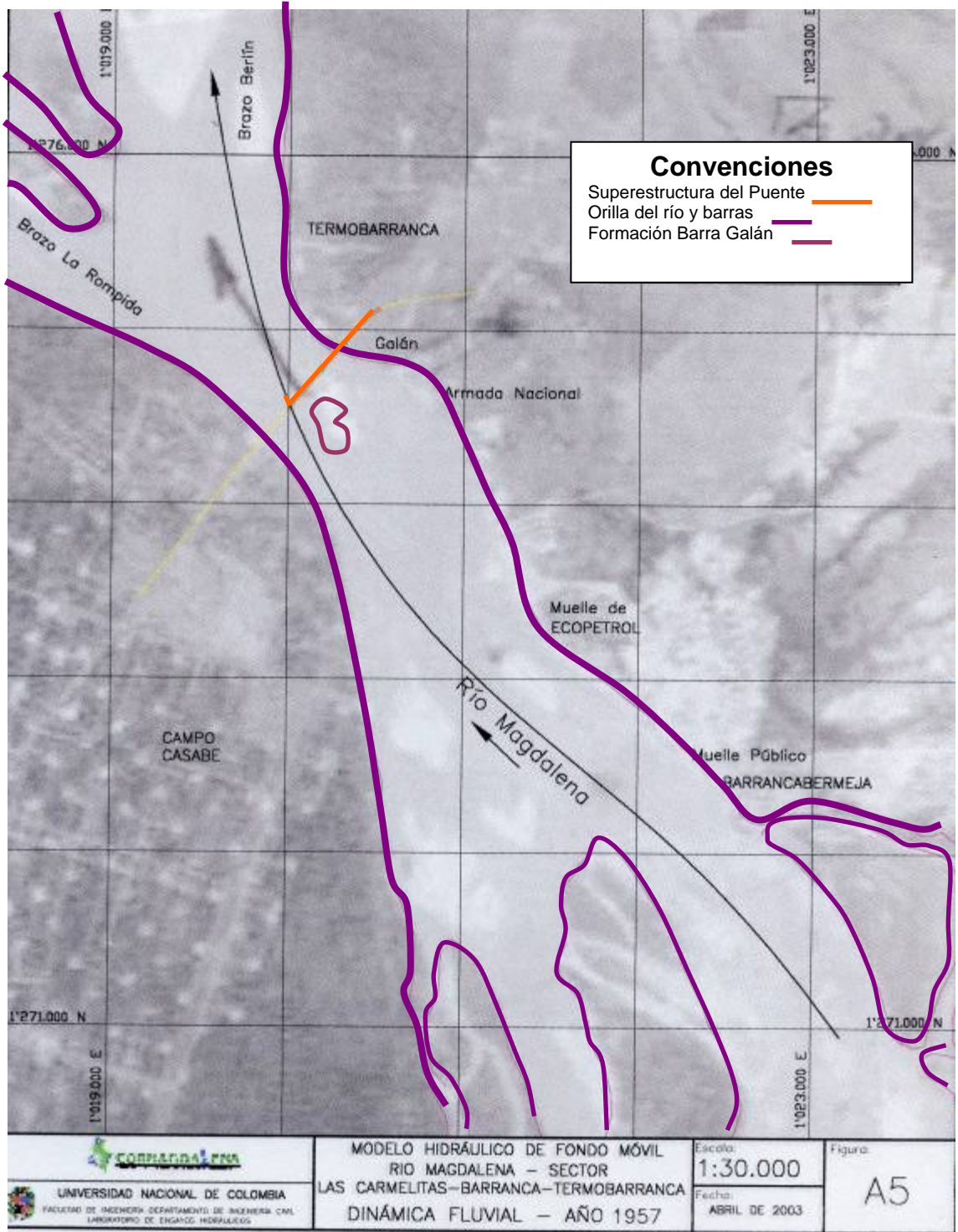


Figura 8. Fotografía aérea 1957.

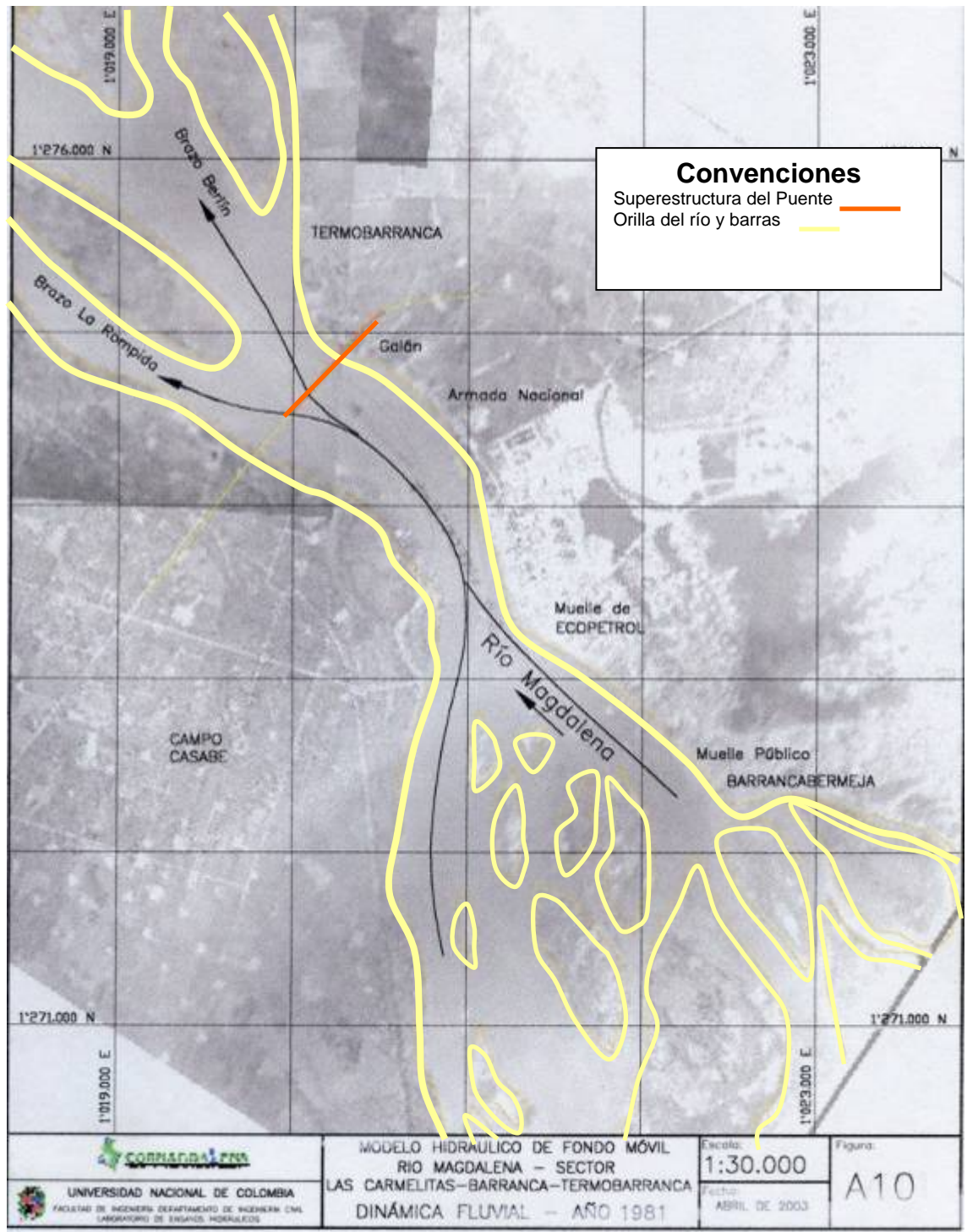


Figura 9. Fotografía aérea 1981.

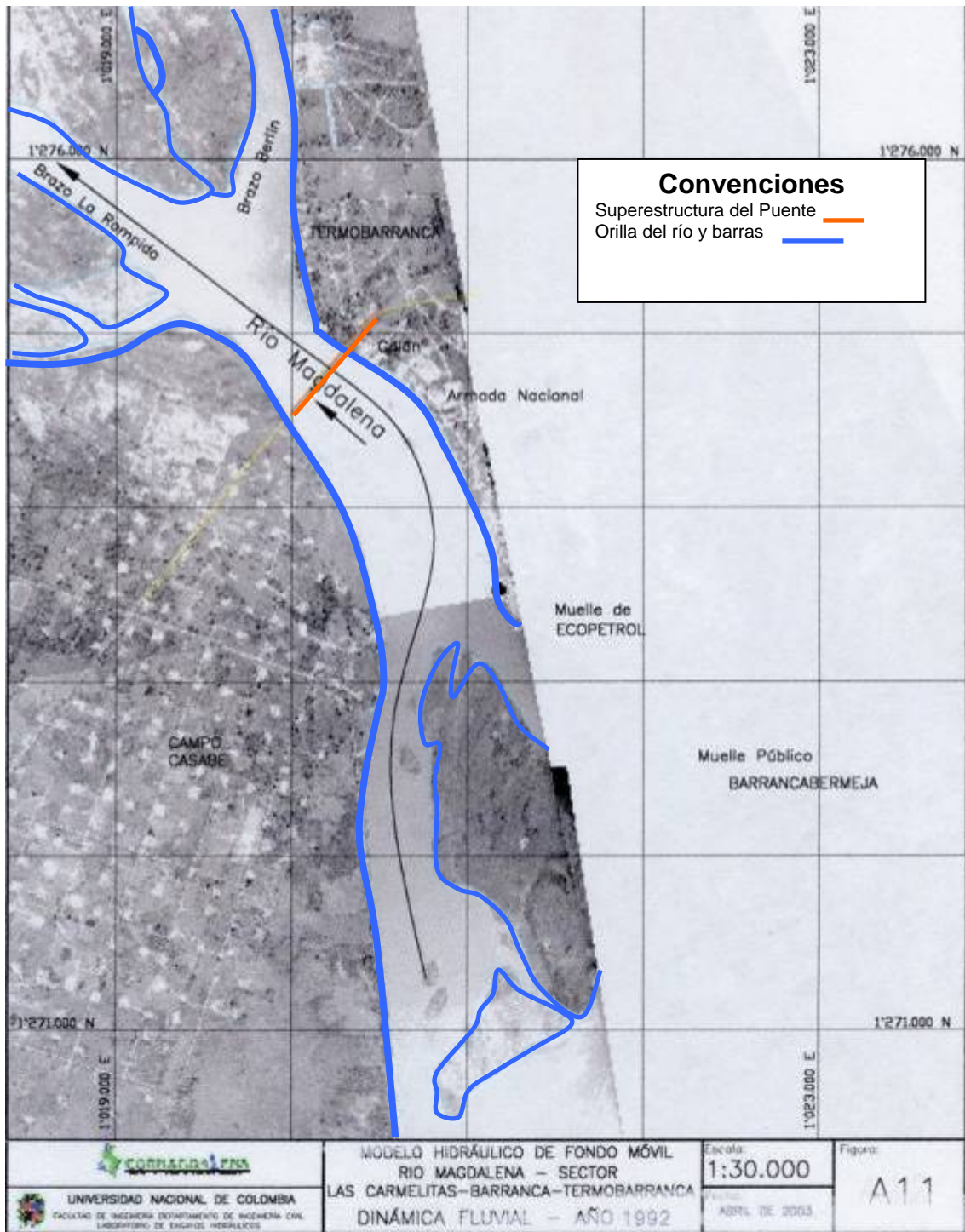


Figura 10. Fotografía aérea 1992.

Aguas arriba del ponteadero, frente al hotel Pipatón existía un canal navegable relativamente ancho y las líneas del thalweg pasaban frente a él. Pero con la finalización de la construcción del dique (1943), se inició la formación y consolidación de islas frente a Yondó (Isla Corrincho, las Malvinas, La Esperanza, como se observa en el anexo 2, y la consolidación frente al hotel; en la actualidad esta problemática ha llegado a tal punto que el brazo de Barrancabermeja prácticamente está inhabilitado (muelle público) como se aprecia en la figura 11, debido a una fuerte sedimentación frente a él.



Fuente: Tomada de Vanguardia Liberal agosto 7 de 2006. EL RIO MAGDALENA afronta por esta temporada del año una crisis en su existencia, lentamente la sedimentación comienza a salir a flote con inmensos bancos de arena convirtiéndolo es una arteria “fluvial” riesgosa para el transporte de carga de pasajeros. Según reportes de la Inspección Fluvial, su cota están en 1.80 metros mientras los reportes de la Naviera Fluvial Colombiana señalan que los puntos más críticos se encuentran a la altura de Barrancabermeja y Puerto Wilches, especialmente en los kilómetros 620 y 630. El puerto de pasajeros de Barrancabermeja, como ocurre ante esta crisis fue trasladado a un lugar más accesible.

Figura 11. Sedimentación frente al Muelle Público.

2.4 Formación de barras

La presencia de barras es constante durante todo el año y en épocas de altos niveles (abril a mayo y de septiembre a noviembre) se sumergen y parte del material que las conforman es erosionado, mientras que en la época de estiaje emergen, permitiendo el crecimiento de la vegetación. La formación de las barras comienza en aquellos lugares donde se disminuye el gradiente de energía y que se encuentran alejados de la línea del thalweg. En este proceso el material grueso (arenas y gravas) se deposita en la parte inferior de la secuencia y en la parte superior de ella, se deposita el material fino (lodos y arcillas), lo cual hace que la secuencia sea una estructura grano decreciente hasta el tope.

En el estrecho de Galán, unos 6 kilómetros aguas abajo de Puerto de Barrancabermeja y la Refinería de ECOPEPETROL, lugar donde actualmente se localiza el puente, se forman las barras 1, 2 y 3, como se muestran en las figuras 12-36 como una de secuencia de Fotografías digitales: antes, durante y después de la construcción del Puente. Los meses más críticos son enero, julio y agosto; los cuales corresponden a un ciclo hidrológico de niveles bajos que comprenden los meses de diciembre a marzo- julio a agosto.

La geometría de las barras uno (1) y dos (2) es de forma longitudinal y éstas se forman paralelas a la corriente en el centro del cauce mientras que la tres (3) es lateral la cual se desarrolla en un área de energía relativamente baja, orilla izquierda Yondó.



Figura 12. Fotografía Galán, antes de la construcción del puente.



Figura 13. Fotografía Diciembre de 2003.
Fotografía aguas bajas Galán, sitio actual del puente



Figura 14. Fotografía 23 de Enero de 2004.
Sedimentación orilla izquierda Galán



Figura 15. Fotografía 25 de Junio de 2004.
Crecimiento longitudinal de las barras.



Figura 16. Fotografía 19 de Noviembre de 2004.

Las barras se encuentran sumergidas por el nivel del agua, se evidencia el crecimiento de la vegetación



Figura 17. Fotografía 22 de Diciembre de 2004.



Figura 18. Fotografía 27 de Enero de 2005.

Parte del material que conforma la barra 3 es producto de la extracción del material del lecho. (Dragado)



Figura 19. Fotografía 28 de Febrero de 2005.



Figura 20. Fotografía 29 de Marzo de 2005.

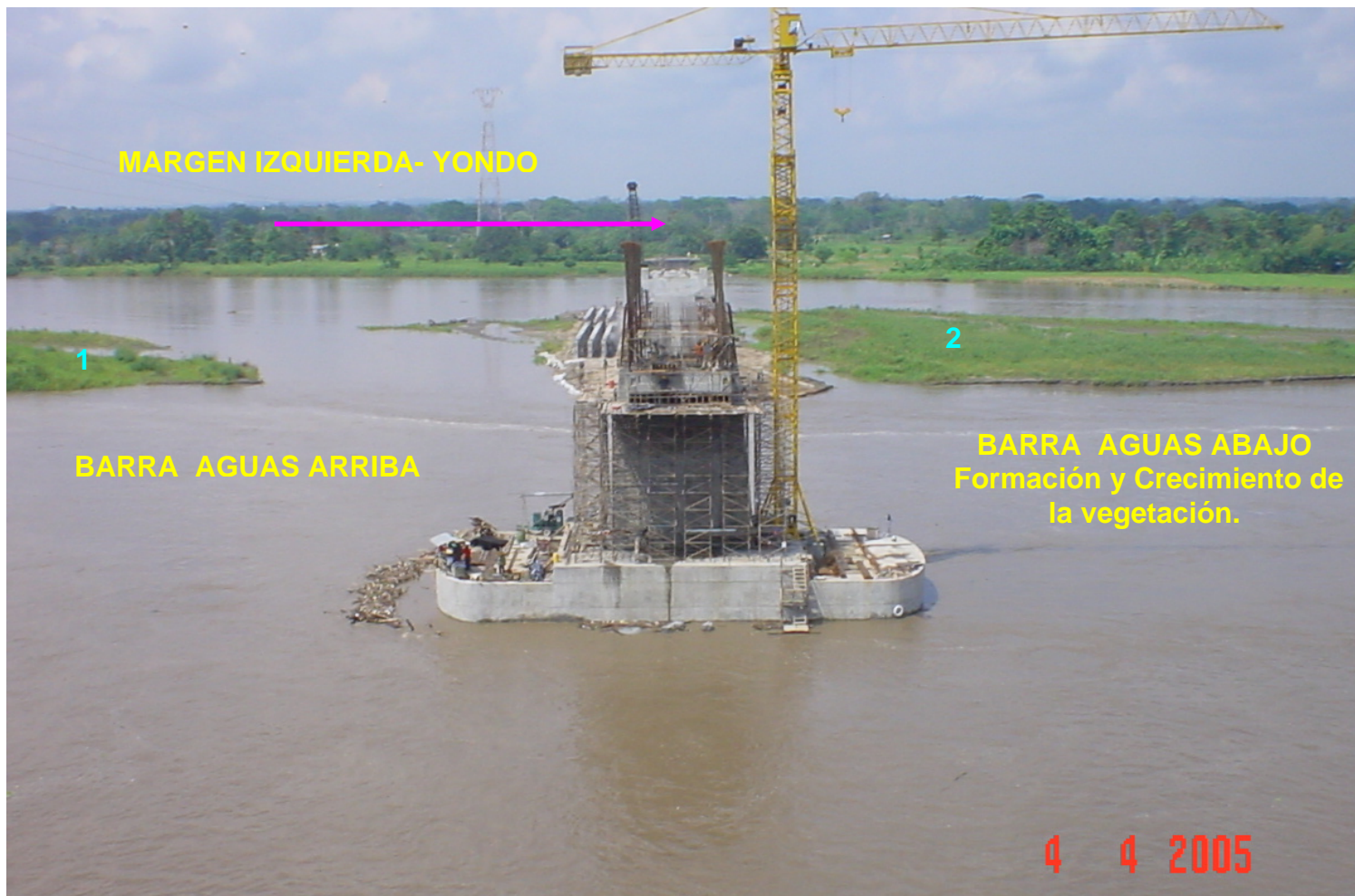


Figura 21. Fotografía 4 de Abril de 2005.
Crecimiento de la vegetación en las barras 1 y 2



Figura 22. Fotografía Mayo de 2005.



Figura 23. Fotografía 1 de Julio de 2005.

Aumenta la sedimentación hacia la orilla izquierda (Yondó). La sedimentación inicia a partir de la pila 8



Figura 24. Fotografía 11 de Julio de 2005.



Figura 25. Fotografía 1 de Agosto de 2005.



Figura 26. Fotografía 27 de Septiembre de 2005.



Figura 27. Fotografía Septiembre 28 de 2005.



Figura 28. Fotografía 28 de Octubre de 2005.



Figura 29. Fotografía 2 de Noviembre de 2005.



Figura 30. Fotografía 21 de Diciembre de 2005.



Figura 31. Fotografía Marzo de 2006.



Figura 32. Fotografía Junio de 2006.



Figura 33. Fotografías Octubre de 2006.



Figura 34. Fotografía Diciembre 30 de 2006. Aguas Arriba.



Figura 35. Fotografía Diciembre 30 de 2006. Aguas abajo.



Figura 36. Fotografía aérea.

Antes de la construcción del Puente Guillermo Gaviria correa existía la presencia de dichas estructuras morfológicas en Galán como se puede apreciar en los años 1957 (figura 38), 1964 (figura 39), 1966 (figura 40), 1967 (figura 41), 1987 (figura 42), 2004 (anexo 5) y 2007 (anexo 6), sin embargo dichas barras no son constantes según los registros históricos de las fotografías aéreas. A medida que avanza la construcción del puente éstas han aumentado su tamaño e incluso en épocas de bajos niveles (diciembre a marzo y julio a agosto) han llegado a constituir una sola barra lo suficientemente extensa como para cubrir el antiguo canal navegable de Yondó, como se muestra en la figura 37.



Figura 37. Avance de la Sedimentación durante la construcción del puente.

Paralelamente, las fotografías aéreas de enero de 2007 vuelo C-2878 y agosto de 2004, como se muestra en el anexo 7, corrobora un aumento considerable de la sedimentación hacia la orilla de Yondó. Conviene, sin embargo, advertir que cabe la posibilidad de una consolidación en dicha orilla si se continúa con el dragado del canal navegable de Barrancabermeja.

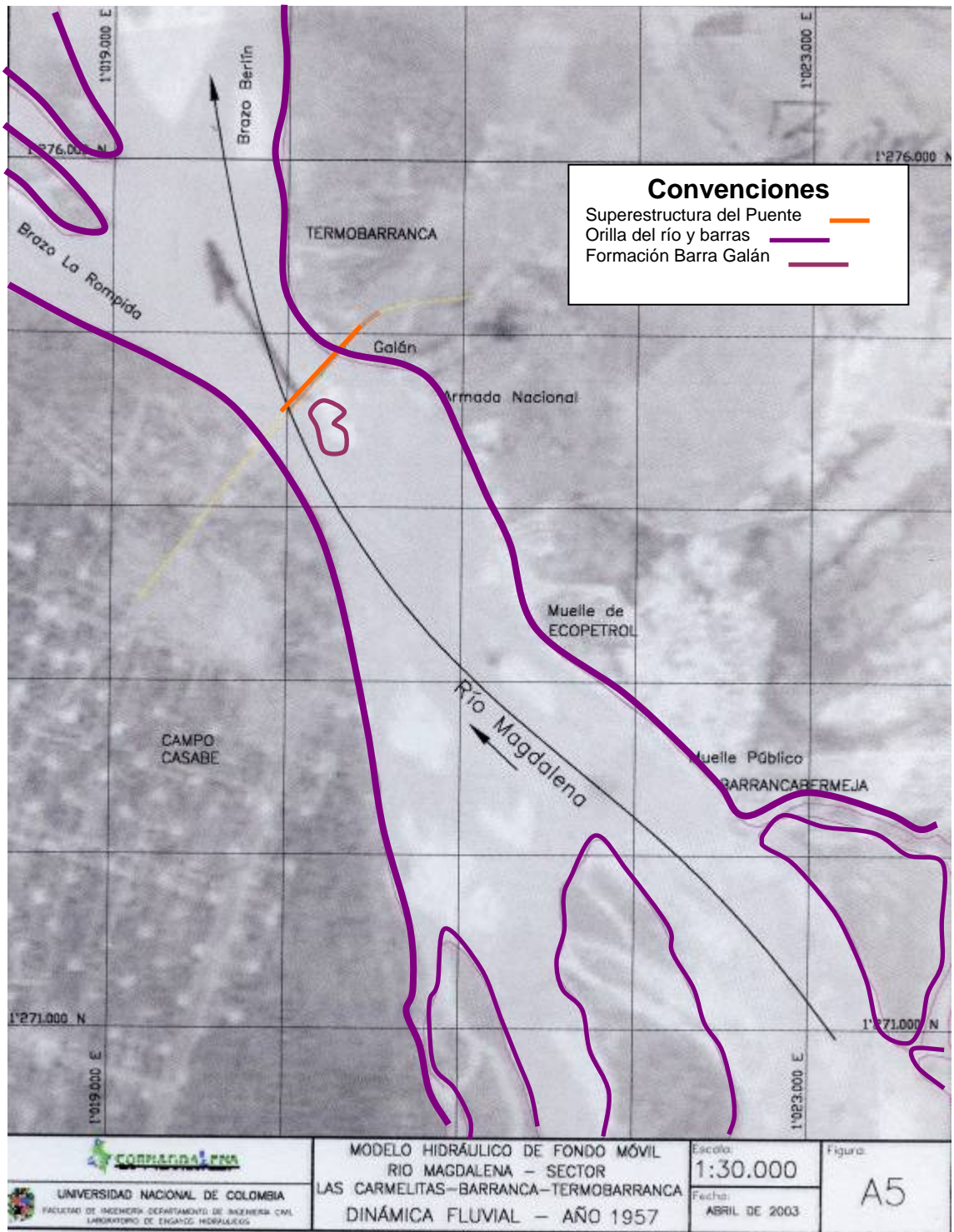


Figura 38. Fotografía aérea 1957.

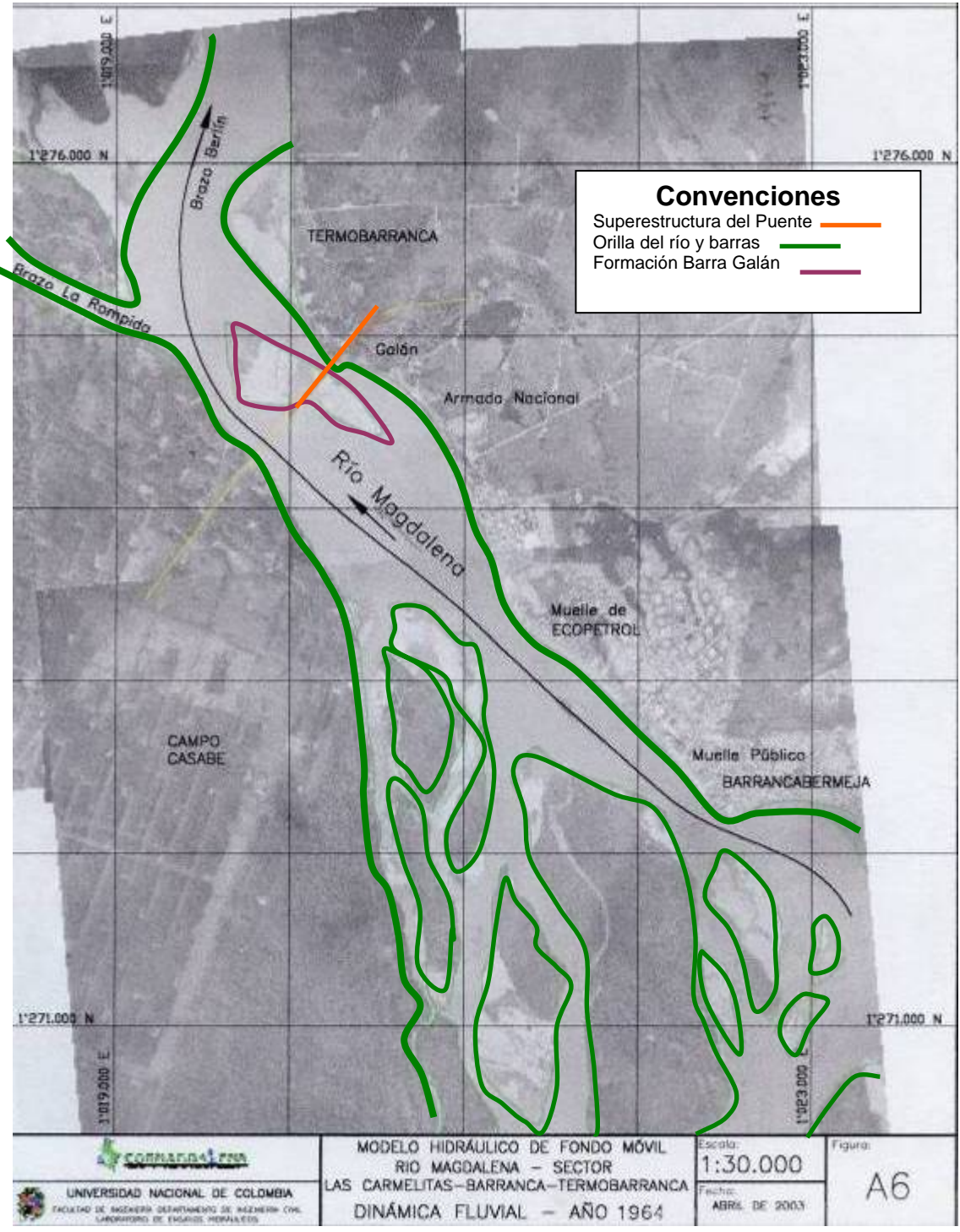


Figura 39. Fotografía aérea 1964.

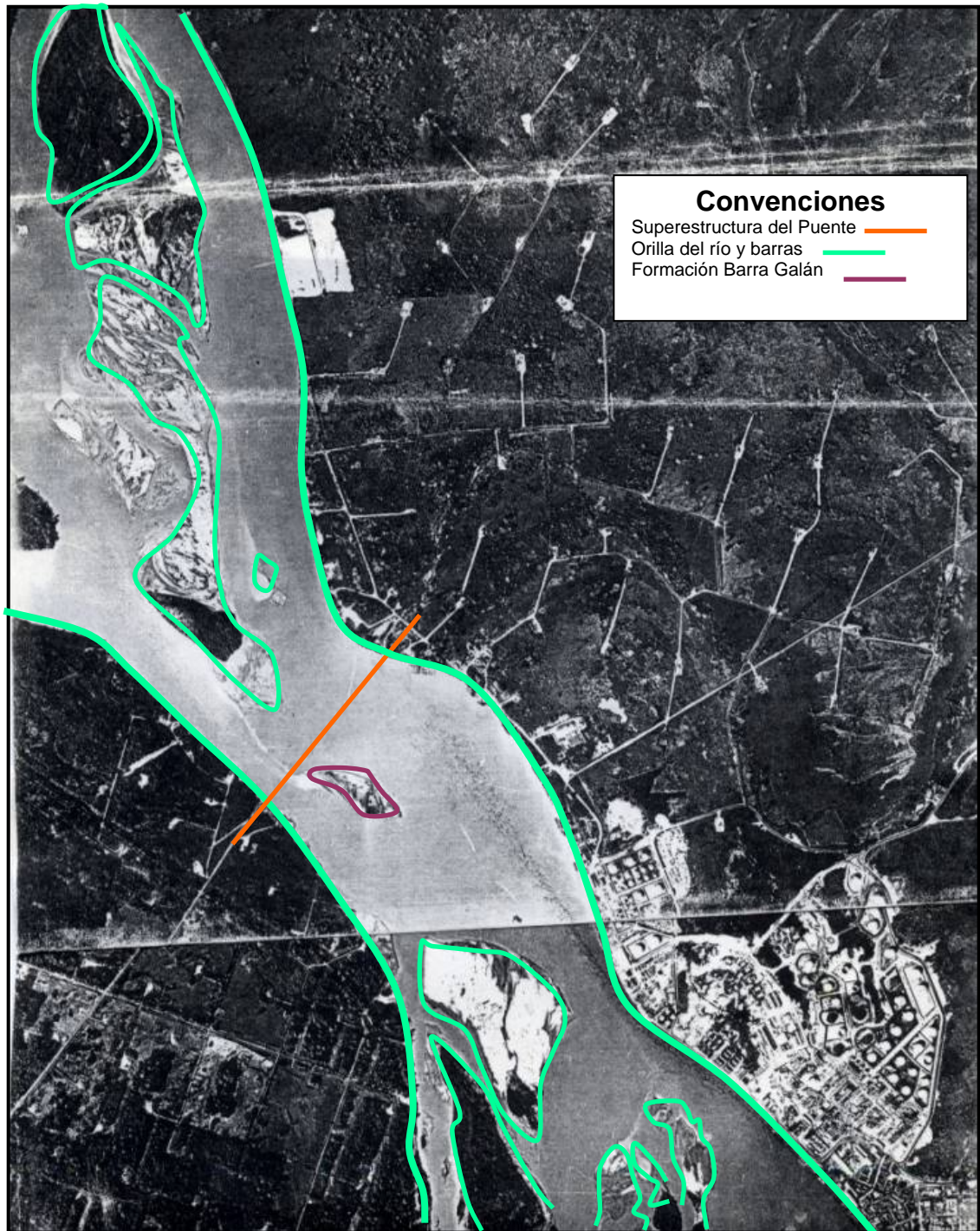


Figura 40. Fotografía aérea 1966.

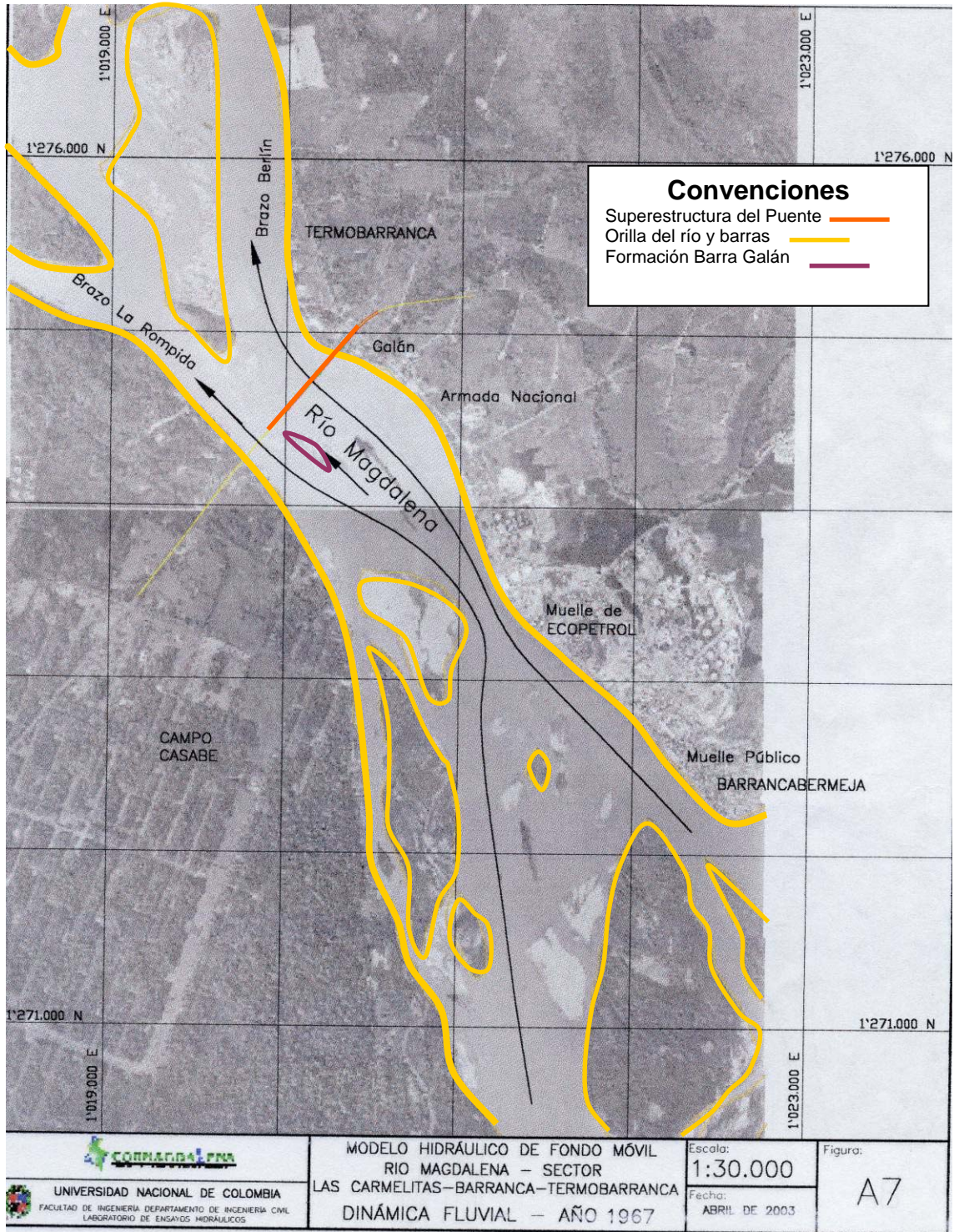


Figura 41. Fotografía aérea 1967.

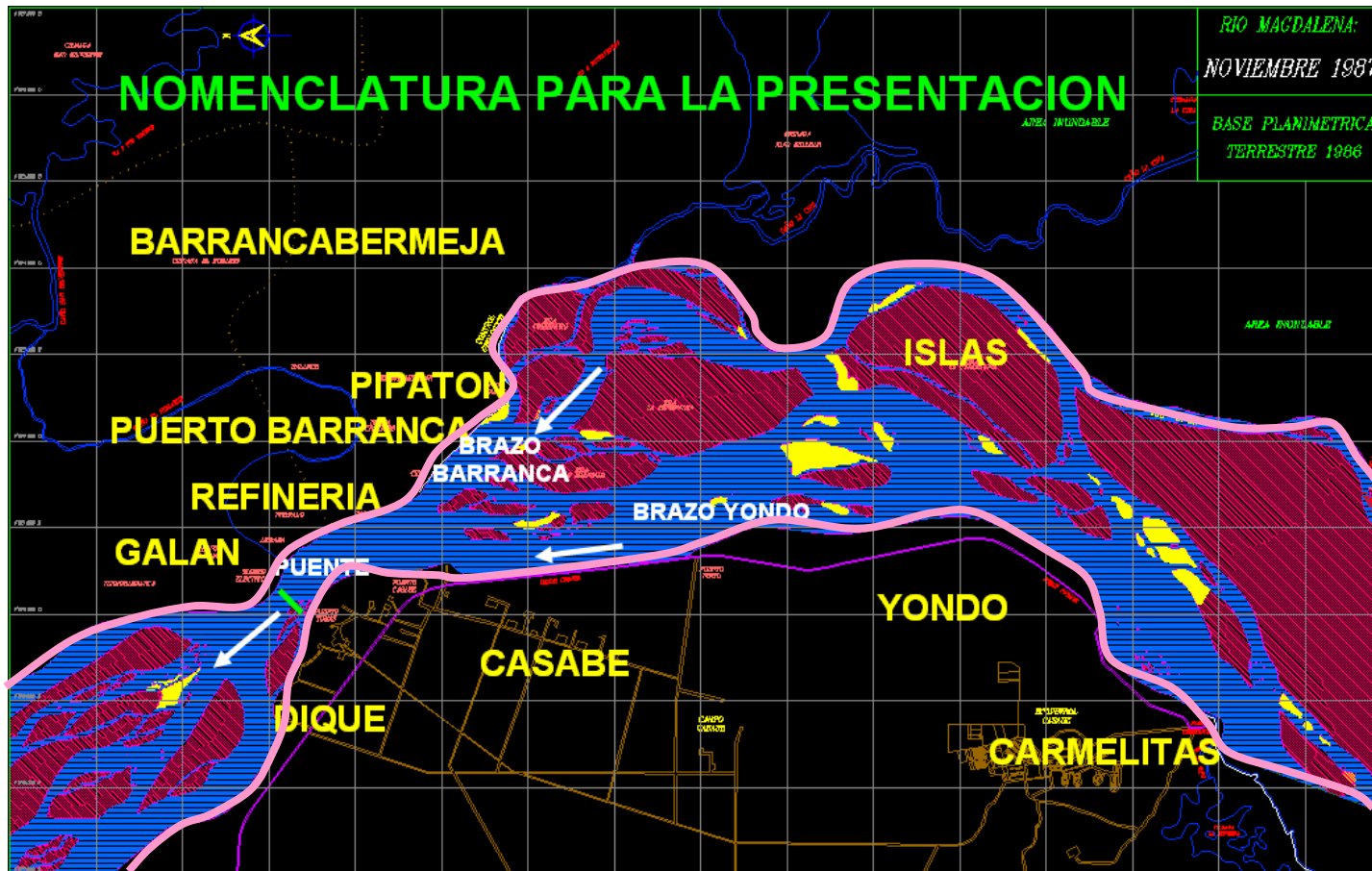


Figura 42. Noviembre de 1987 con base planimétrica de 1986.

2.5 Llanura de inundación

Porción plana y baja de un valle fluvial sujeta a inundaciones periódicas, la llanura de inundación se despliega hacia la orilla de Yondó hasta la cota que conforma el dique, siendo esta la orilla más vulnerable a la erosión, como se puede observar en el anexo 2.

2.6 Análisis Sedimentológico

La estimación de la cantidad de sedimentos en los sistemas fluviales: carga de fondo y suspensión son difíciles de estimar.

La zona de Barrancabermeja ha sido objeto de numerosos estudios, los cuales han estimado varios valores de carga de sedimentos: (Hidrotec 1986 y 1987) carga en suspensión: 71,300,000 Ton/año y carga de fondo 8,900,000 Ton/año, para un total de 80,200,000 Ton/año en Barrancabermeja, según estudios del Buque Explorador. Otro estudio (BEX-hidroestudio 1987 y 1989), en condiciones de aguas altas obtuvieron un transporte total de arenas por el brazo izquierdo frente a Barrancabermeja de 370,000,000 Ton/diarias, mientras que en el brazo derecho era de 127,000,000 Ton/diarias para un total de 490,000,000 Ton/diarias (Martínez y Rodríguez, 2000).

Por otra parte el Estudio para la viabilidad del puente, Barrancabermeja-Yondó (ESTUDIO Y DISEÑO DEL PUENTE SOBRE EL RIO MAGDALENA EN LA CARRETERA BARRANCABERMEJA-YONDO, 2002), basados en los estudios UN-LEH, estimó una carga total de sedimentos del orden de los 60,556,316 Ton/año en el sitio del puente; este valor esta por debajo del estimado en 1987 por la empresa Hidrotec aguas arriba del ponteadero.

3. OBRAS SOBRE EL RÍO MAGDALENA Y SUS ORILLAS

La intervención del hombre sobre el Río Magdalena, ha sido constante debido a los intereses particulares de la antigua Empresa Colombiana de Petróleos, hoy llamada ECOPETROL S.A. en convertir el brazo de Barrancabermeja en un canal navegable para sus actividades portuarias, así mismo como la protección contra las inundaciones y la erosión en las orillas desde Puntas Carmelitas hasta Termobarranca. Dichas intervenciones, se resumen en la tabla 3.1; éstas disminuyen el gradiente de energía o reducen el ancho efectivo del río, alterando así, el direccionamiento de la corriente para reestablecer su equilibrio natural, afectando tanto aguas arriba como aguas abajo.

Tabla 3. 1 Actividades Antrópicas en el Río Magdalena

AÑO	OBSERVACIONES
1944	Termina la construcción del dique de Casabe por parte de la compañía Anglo Saxon Petroleum (Berger, 1926 y UIS-1989).
1947	Construcción de los primeros espigones y relocalización del dique en sector Carmelitas (UIS, 1989).
1954	Muelle público de Barrancabermeja, Muelle de ECOPETROL. (Martínez y Rodríguez, 2000).
1954	Muro de canecas frente a la estación Galán. (Martínez y Rodríguez, 2000)
1972	Muro de canecas frente a la estación Galán. (Martínez y Rodríguez, 2000)
1985	Construcción de 8 espigones arriba del Puerto Casabe y una protección lateral de 300 mt, junto al Puerto Casabe. (ECOPETROL –Distrito de Producción, 1985).
1987	Tablestacado complejo Industrial. (Martínez y Rodríguez, 2000).
1987	13 espigones y un malecón arriba de Carmelitas, 12 espigones entre Carmelitas y Puerto Pinto, 5 espigones entre Puerto Pinto y Puerto Casabe, 1220 mt de defensa longitudinal debajo de Puerto Casabe (Hidrotec, 1987)
1987	Defensa metálicas (Hidrotec, 1987)
Noviembre 1987	Protección de las orillas en Galán con bloques de concreto de hexápodos y pilotes (ECOPETROL-Distrito de Producción).
1988	Espigones junto a la Armada. (ECOPETROL-Distrito de Producción).
1990	El Ministerio de Obras Pública comienza el programa de dragado hacia Barrancabermeja. (BEX-hidroestudios, 1990)
1991	Espolones con hexápodos- Carmelitas
Diciembre de 1991	ECOPETROL inicia otro programa de dragado para rehabilitar su puerto. (ECOPETROL- Distrito de Producción, 1991).
Junio a Agosto de 1993	Construcción de pantallas de concreto en el fondo del río frente al puerto por la Empresa ECOPETROL. (Hidroconsulta, 1993).
Enero de 1997	Iniciación del programa de dragado por parte de Cormagdalena.(Cormagdalena, 1997)
1999	ECOPETROL construyó una pantalla de geocolchones a todo lo largo de la orilla frente a la estación de Oleoductos. (ECOPETROL, Superproyectos-1999)
2003-2005	Construcción del Puente Guillermo Gaviria Correa y Puerto Modular

Fuente: Interventoría-Universidad Industrial de Santander, 2001.
Martínez y Rodríguez, 2000.

4. THALWEG

La línea del thalweg esta definida por los puntos más bajos del lecho de un río a lo largo de toda su trayectoria. El Río Magdalena históricamente ha presentado una variación del thalweg aguas arriba del puente, en el sitio del puente y aguas abajo. A partir del año 1971 con la primera batimetría del Río Magdalena se ha podido estudiar el comportamiento del thalweg.

4.1 Localización histórica del thalweg en la zona de influencia

La zona de influencia es objeto de numerosos estudios debido a la importancia que representa la Refinería de ECOPETROL. Esta empresa tiene sus instalaciones frente al Río Magdalena y cual es el motor principal para el traslado de graneles líquidos (hidrocarburos y aceites vegetales) hacia la ciudad de Barranquilla y Cartagena. Las batimetrías en la zona de influencia se pueden observar en el anexo 4, a continuación se describe el recorrido de las diferentes líneas del thalweg.

Octubre de 1995. Batimetrías orilla izquierda Yondó desde Puerto Casabe hasta aguas abajo del ponteadero: se localiza un thalweg muy cerca de la orilla de Yondó y a la altura de Puerto Tomas se adiciona otra línea de thalweg. Dicha línea posiblemente proviene del brazo Barrancabermeja, los cuales son aportes del Río Opón principalmente.

Diciembre de 1986. Batimetría frente al Campo Casabe: El thalweg se encuentra recostado hacia la orilla de Campo Casabe.

Julio de 1971: El thalweg se localiza frente al muelle Público hasta llegar frente a las bodegas de Galán aproximadamente, donde presenta un direccionamiento hacia la orilla de Yondó hasta la Base Armada Nacional para volver a retomar el rumbo frente al campo Galán.

Agosto de 1971: Existen dos thalweg una hacia Yondó y otro en Barrancabermeja hacia el muelle de ECOPETROL. Luego, frente a las bodegas de materiales en Galán se unen formando una sola línea de profundidad alejándose un poco de Campo Galán, pero se recuesta un poco más a esta orilla frente a la Armada Nacional y el ponteadero (sitio donde actualmente se localiza el Puente Guillermo Gaviria Correa).

Enero de 1991: La línea de thalweg se encuentra frente al Muelle Público y el Muelle de ECOPETROL. Pero frente a las bodegas de Galán se presenta un alineamiento hacia la orilla de Yondó donde además se le adiciona otra línea de thalweg proveniente del brazo de Yondó, hasta la Base de la Armada Nacional en donde se cambia de rumbo hacia la orilla derecha (campo Galán).

Diciembre de 1991: La línea del thalweg se localiza frente a la Vereda Casabe Viejo, luego, en Puerto Casabe ECOPETROL se direcciona hacia el centro del canal aproximadamente hasta llegar frente a las bodega de materiales, donde vuelve a retoma su rumbo hacia (Yondó).

Junio a julio 1993: alineamiento muy similar a julio de 1971, sin embargo frente a las bodegas de Galán se tratan de formar dos brazos.

Diciembre de 1993: el thalweg se aleja de las bodegas de Galán y de las bodegas de materiales para dirigirse hacia la otra orilla Yondó.

Enero de 1994. Batimetría frente a Puerto Tomás: El thalweg se localiza hacia Yondó hasta aguas abajo.

Diciembre de 1994: El thalweg se encuentra un poco alejado de las bodegas de Galán y de materiales luego se recuesta hacia Yondó donde permanece hasta aguas abajo del puente.

Enero de 1997: Batimetría frente al Puerto Casabe y las bodegas de Galán y de Materiales. Se presentan dos thalweg uno hacia Yondó frente a Puerto Casabe y el sitio el Puerto, aguas abajo presenta un direccionamiento hacia el Campo Galán donde se adiciona el thalweg proveniente de Barrancabermeja que recorre la orilla derecha de la Refinería de ECOPETROL.

Se evidencian cambios considerables en el direccionamiento del thalweg después de la construcción de las pantallas sumergidas en el fondo del Río Magdalena. Estas se ubican entre los 120 y 150 m frente a orilla derecha (bodegas de Galán y de Materiales), como se observa en el anexo 3; al comparar las batimetrías durante la construcción de las pantallas junio-julio 1993 con las de noviembre y diciembre del 1993, enero y mayo de 1997, se observa como se redirecciona el thalweg hacia la Refinería de ECOPETROL, lugar donde también actualmente se encuentra el thalweg. Cabe mencionar que dichas pantallas modificaron la

morfología del Río en Galán, permitiendo que el thalweg se mantuviera en Yondó.

4.2 Batimetrías Históricas en el eje del Puente Guillermo Gaviria Correa.

El puente Guillermo Gaviria Correa se ubica en un estrecho natural denominado Galán, localizado al norte de las poblaciones de Barrancabermeja (Santander) y Yondó Antioquia. Existen registros históricos sobre estudios batimétricos en el eje del puente, En él se evidencia la formación de dos canales navegables como se puede observar en la gráfica 4.2.1

AGOSTO DE 1971: el canal principal era una solo, relativamente ancho y poco profundo.

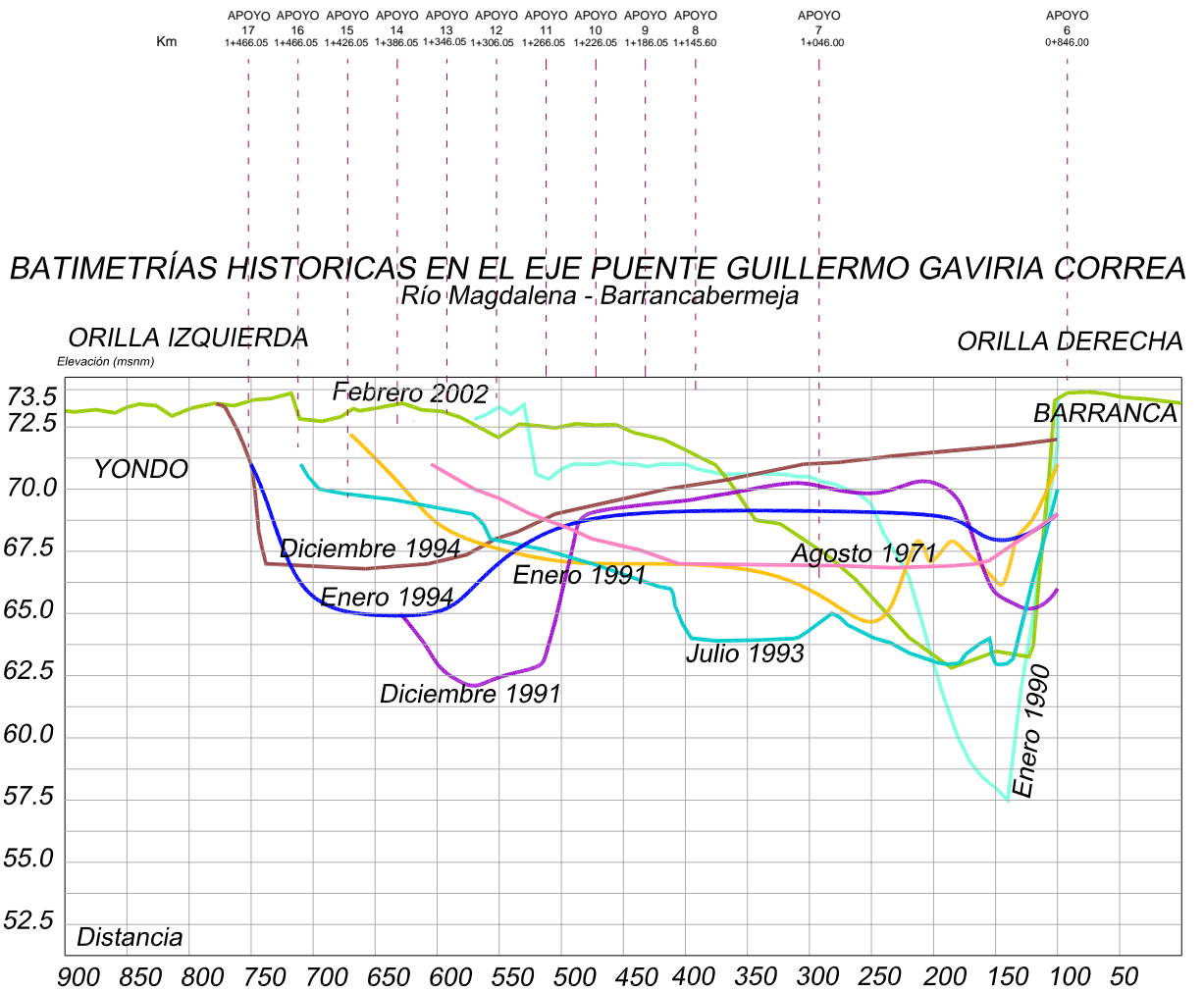
ENERO 1990: Existe un solo canal navegable muy profundo recostado hacia la orilla derecha (Barrancabermeja), además de una sedimentación hacia Yondó.

JULIO 1993: Se observa una ampliación considerable del canal navegable en Barrancabermeja, pero no es tan profundo como enero de 1990. Además presenta una degradación en el canal de Yondó.

ENERO 1994: Se presenta una modificación del thalweg, este cambio puede ser producto de la intervención antrópica (pantallas sumergidas en el Río Magdalena frente a las bodegas de Galán y Materiales). El thalweg se localiza en el canal de Yondó y hay una fuerte sedimentación en el canal de Barrancabermeja.

DICIEMBRE 1994: Se presenta una gran similitud con enero de 1994 pero un leve aumento de sedimentación a lo largo del ancho del canal.

FEBRERO 2002: El canal navegable se encuentra hacia Barrancabermeja, es poco ancho y profundo. En el canal de Yondó hay una fuerte sedimentación.



Gráfica 4.2. 1 Batimetrías históricas en el eje del Puente Guillermo Gaviria Correa

Fuentes: Hidrotec, Maldonado Ing, Matajira Mantilla y Cia, Geotecnología Ltda, ECOPETROL-Distrito de Producción.

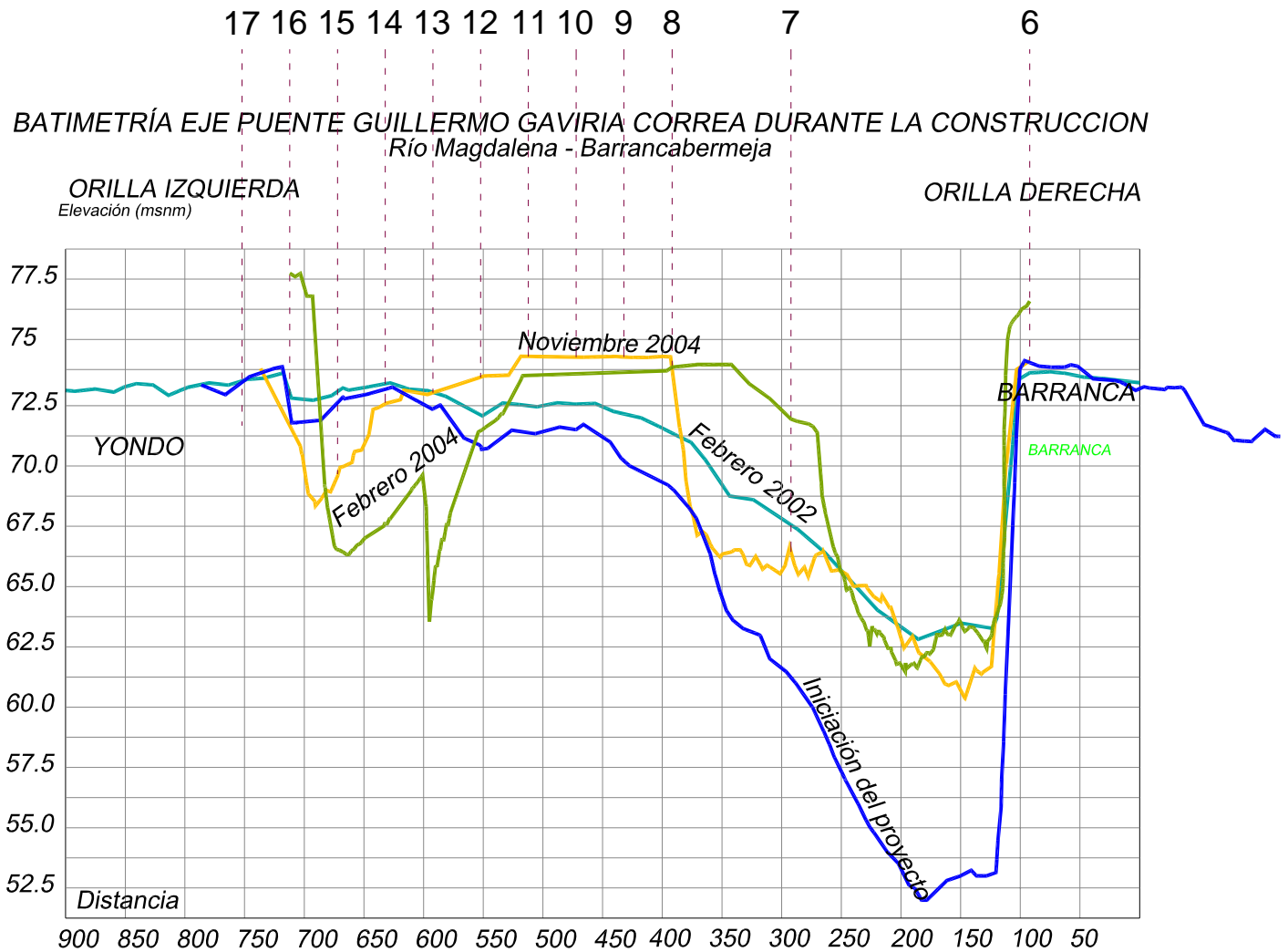
4.3 Batimetrías durante la construcción del Puente Guillermo Gaviria Correa.

Las batimetrías durante la construcción del Puente Guillermo Gaviria se describen a continuación y se pueden observar en la gráfica 4.2.2

INICIACION DEL PROYECTO: El canal navegable se encuentra en Barrancabermeja, es la mayor profundización respecto a todas las batimetrías 20 m aproximadamente, superando la enero 1990 y continúa la sedimentación en el canal de Yondó.

FEBRERO 2004: el proceso de agradación es evidente con la construcción del puente en ambas orillas. Hacia el canal navegable de Barrancabermeja el lecho presenta una elevación de 10 m por encima de la batimetría inicial del proyecto. Hacia la otra orilla existe un aumento en la sedimentación (Yondó).

NOVIEMBRE 2004: El canal navegable de Barrancabermeja se reduce en su ancho y aparece un pequeño canal navegable en Yondó muy poco profundo.



Sin escala

Gráfica 4.2. 2 Batimetrías Durante la construcción del Puente Guillermo Gaviria Correa.

Fuentes: Hidrotec, Maldonado Ing, Matajira Mantilla y Cia, Geotecnología Ltda, ECOPETROL-Distrito de Producción.

Las batimetrías de febrero 2002, noviembre 2004, y febrero del 2004 presentan una fuerte sedimentación desde la pila 8 hasta la pila 12 , con un aumento en la elevación del fondo del cauce de 3.5 m aproximadamente con respecto a la iniciación del proyecto. La figura 45 corrobora dicha afirmación.



Figura 43. Avance de la Sedimentación durante la construcción del Puente.

4.4 ANÁLISIS DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS

1923: No existía un estrecho en Galán, no habían grandes islas pero si existían barras en la zona de influencia (Berger, 1926).

1943: el thalweg principal proviene del brazo de Barrancabermeja y está direccionado hacia Galán.

1949 y 1950: Se cierra el brazo de Yondó frente al Muelle Público de Barrancabermeja por la formación de barras e isla, el thalweg se direcciona hacia Yondó proveniente de Barrancabermeja.

1957: Se presenta una situación muy similar a los años 1949 y 1959 pero se puede apreciar la formación de una barra en Galán.

1964: El thalweg proviene del Brazo de Barrancabermeja pero se presenta un estrechamiento por la gran sedimentación en esta zona, el thalweg aguas abajo

(Galán) se recuesta más hacia la orilla de Yondó.

1967: Se presenta un gran cambio en el direccionamiento de thalweg: la formación de dos thalweg uno proveniente del brazo de Barrancabermeja y el otro del brazo de Yondó; en el sitio del puente se mantiene los dos canales navegables provenientes aguas arriba.

1973: Se continúa manteniendo los dos canales frente a Barrancabermeja pero se unen en uno sólo frente a las bodegas de Galán y Materiales direccionándose un poco a la derecha. En 1976 se observa un solo thalweg recostado hacia Yondó; frente al sitio (El Puerto), se direcciona hacia la otra orilla y se abre en dos, frente al Muelle Ferry.

1981: se vuelven a formar los dos brazos frente a Barrancabermeja dirigiéndose su corriente principal en medio del canal pero aguas abajo se vuelve a dividir el thalweg en dos, el primero se dirige hacia el brazo Berlín mientras que el segundo al Brazo la Rompida.

1992: el thalweg aguas abajo del puente se localiza en Yondó, se direcciona un poco hacia Barrancabermeja frente a la Refinería, ECOPETTROL y en el sitio del puente.

1998: el agua se abre paso entre las islas frente a Barrancabermeja formándose dos thalweg, aguas arriba de la Armada Nacional se une formando uno solo para abrirse en dos, frente a la Isla Cuatro Bocas y se direcciona en cada uno de los brazos formados por la consolidación de dicha isla; en el sitio del puente el thalweg se encuentra recostado un poco a la derecha en Galán, como se puede observar en la fotografía 48.

2004: No existen datos batimétricos, pero las estimaciones se pueden hacer con base en las fotografías aéreas. Posiblemente el thalweg se localiza hacia la orilla derecha en Puntas Carmelita, golpeando fuertemente el dique de Yondó, como podemos observar en las figura 50-52 y formando una curvatura después del control geológico, afectando considerablemente esta margen del río. Luego, se abre entre las islas y presenta un direccionamiento hacia Barrancabermeja frente a la Refinería hasta aguas abajo donde se localiza el puente. En la figura 24 se puede apreciar el thalweg en el sitio del puente, recostándose hacia la margen derecha (Barrancabermeja).

2007: Todo parece confirmar que el thalweg esta totalmente recostado contra la Refinería de ECOPETROL y en Galán (sitio del puente). Los procesos de profundización o entallamiento del cauce son apreciables con el colapso del puerto multimodal 2006 y la socavación del tablestacado en la Refinería de ECOPETROL. Como es natural la margen contraria presenta una fuerte sedimentación (Yondó), y muy posiblemente se podría dar la consolidación de una isla en la orilla izquierda del ponteadero, como se observa en el anexo 7.



Figura 44. Fotografía aérea 1923.
Fuente: Interventoría Universidad Industrial de Santander

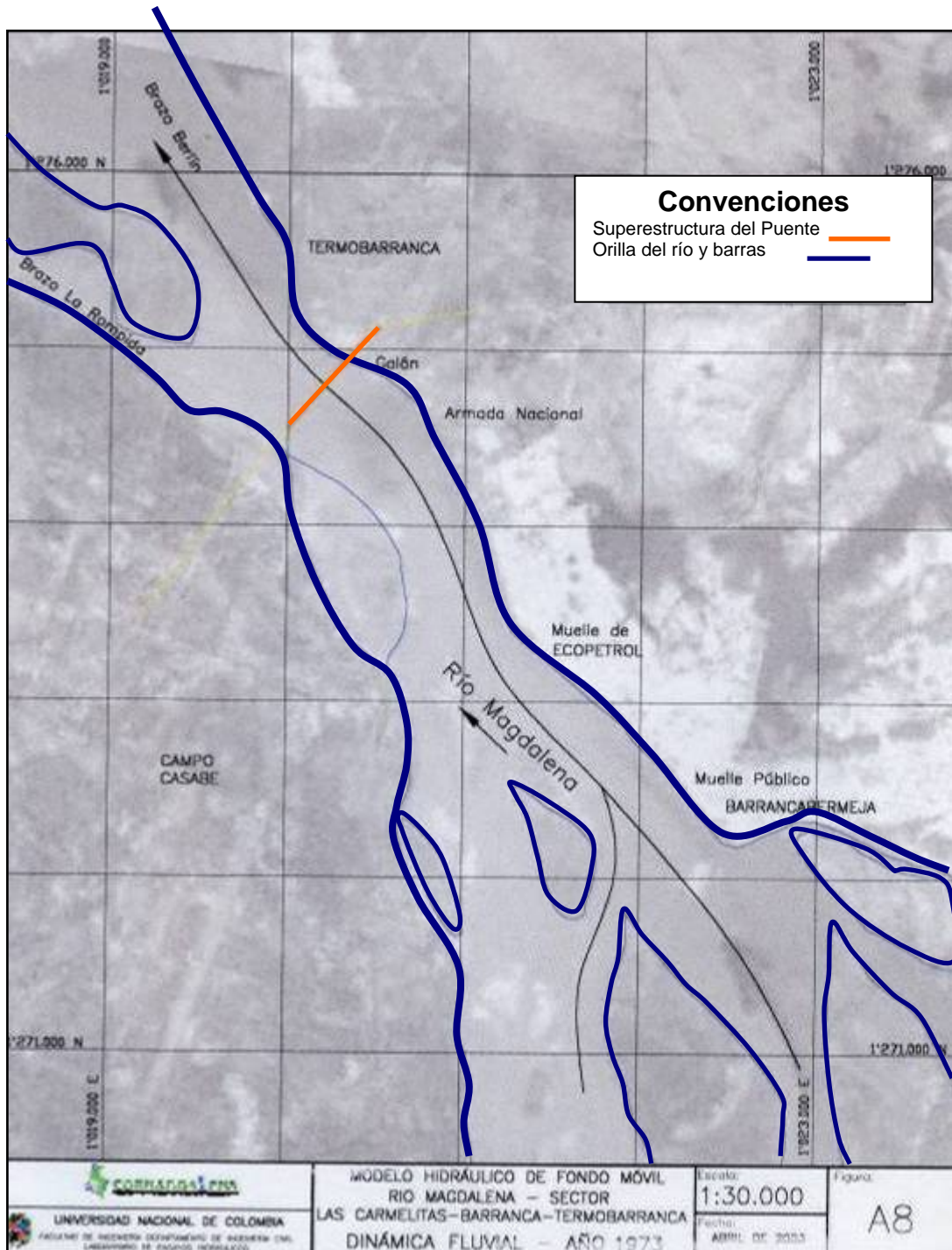


Figura 45. Fotografía aérea 1973.

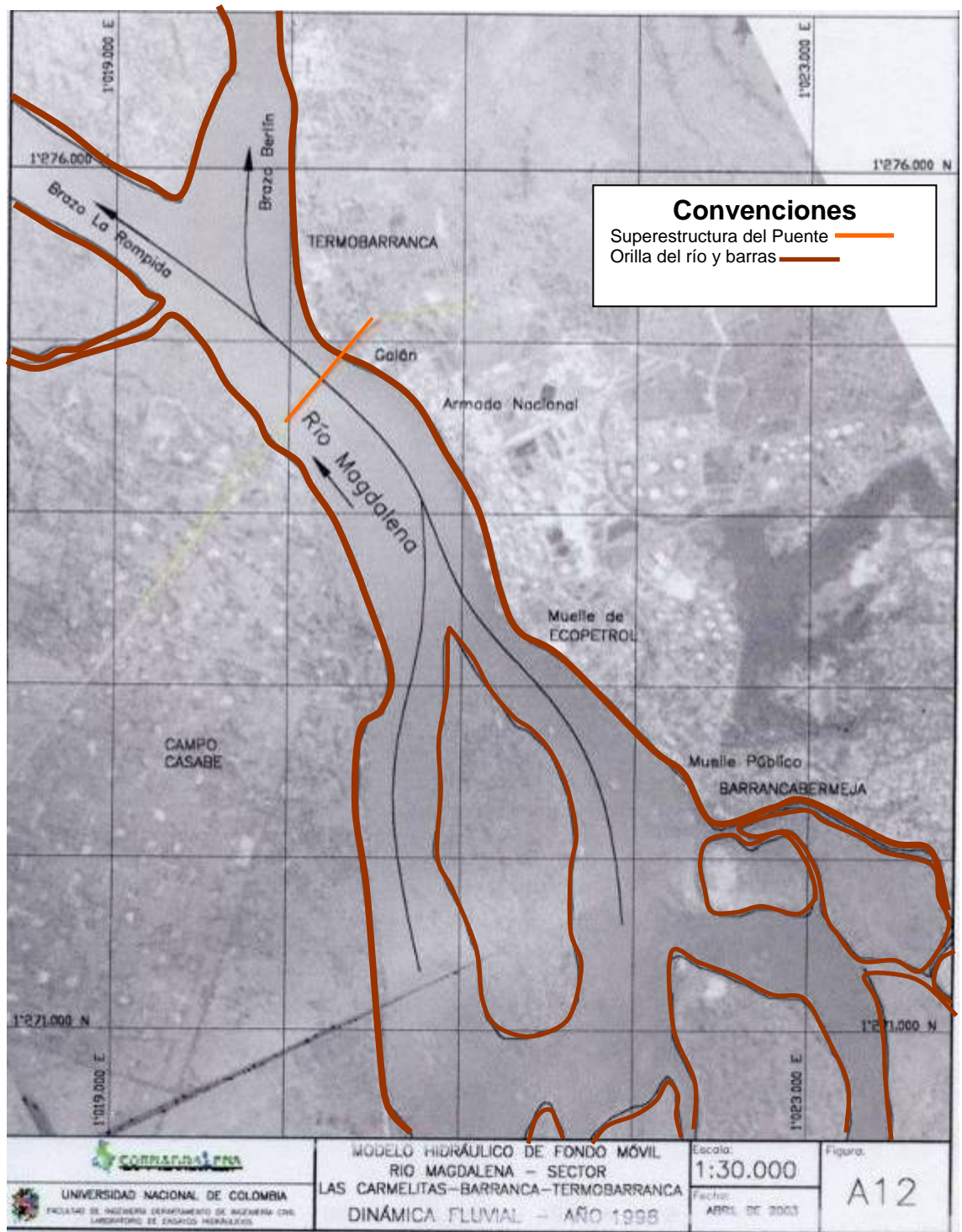


Figura 46. Fotografía aérea 1998.

5. PROBLEMAS GENERADOS POR LA INTERVENCIÓN ANTRÓPICA

Algunas de las obras construidas a lo largo de las orillas del Río Magdalena y dentro de su cauce, han ocasionado cambios considerables en la morfología del río: la formación de un estrecho artificial debido a la construcción del dique de Yondó a la altura del Puntas Carmelitas, dicho dique fue construido sobre la orilla del río de 1943, como lo podemos apreciar en la figura 47. Lo que ha ocasionado un fracturamiento y desprendimiento de dicha protección contra las inundaciones, debido a la alta tasa de erosión que se presenta en la base del talud por efecto de la corriente, como lo podemos apreciar en la figuras 48-50.

Sin embargo con el redireccionamiento del dique en este punto y las obras auxiliares como hexápodos y espolones construidos con el fin de disminuir el gradiente de energía y así mismo la erosión, han ocasionado una modificación del thalweg aguas abajo, alejándolo del puerto de Barrancabermeja y localizando hacia Yondó.

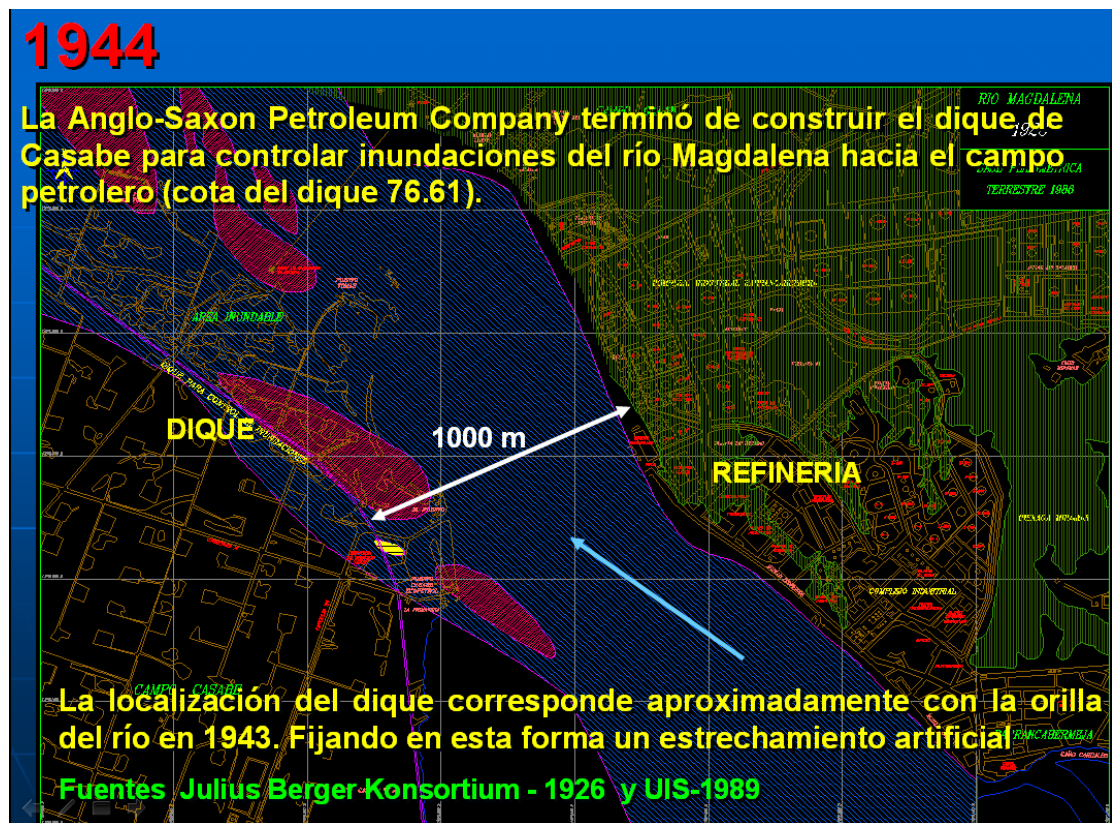


Figura 47. Localización del dique de Yondó en la orilla del Río Magdalena de 1943



Figura 48. Fracturamiento del dique de Yondó en Puntas Carmelitas.



Figura 49. Socavación y erosión de la base del talud que conforma la orilla.



Figura 50. Erosión de la orilla en Punta Carmelitas.

Por otra parte el dragado en el puerto antiguo o muelle turístico de Barrancabermeja también incide sobre el thalweg modificándolo en el sitio que actualmente se localiza el puente “Galán”, alejándolo hacia Yondó una vez suspendido el dragado , por lo tanto es imposible tener el puerto de Barrancabermeja activo y el Thalweg hacia Barrancabermeja en Galán (Suárez, 2007). Además la profundización del canal principal “orilla derecha” (Barrancabermeja-Refinería) ha generado actualmente problemas de socavación del tablestacado frente a la refinería de ECOPETROL y el nuevo Puerto Modular en el 2006; el cual sufrió un colapso de la estructura debido a la alta tasa de erosión hacia la margen derecha en Galán (sitio actual del puente), como se puede observar en las figuras 51 y 52.



Figura 51. Socavación del tablestacado Muelle 1 Refinería (Agosto 2006)



Figura 52. Socavación del tablestacado del Nuevo Puerto Modular. Diciembre de 2006

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La afectación debido a la construcción del Puente Guillermo Gaviria Correa en Galán (sitio del puente) es una fuerte sedimentación hacia la orilla izquierda (Yondó) desde la pila 8 hasta la 17, sin embargo dicha sedimentación no afecta la estabilidad del puente ya que este se diseñó teniendo en cuenta las batimetrías históricas, las barras 1, 2 y 3 apreciadas en la serie de fotografías se consolidarían formando una sola geoforma.

A escala macro, los cambios morfológicos a primera vista no son preocupantes para el puente, debido a que los parámetros para la construcción era mantener un solo canal navegable (Barrancabermeja) situación que actualmente se mantiene; Por otra parte, el thalweg se encuentra recostado contra la orilla derecha, frente a la Refinería de ECOPETROL (desde las bodegas de Galán hasta el sitio del ponteadero). Sin embargo la protección de tablestacado frente este sector se encuentra expuesto a una alta socavación.

El puente Guillermo Gaviria Correa se comporta como un espolón o colador, es decir un recolector de sedimentos aguas arriba del puente y en el sitio del puente, lo cual implica una disminución de la capacidad del Río Magdalena para transportar la carga de fondo aguas abajo.

Aunque históricamente la formación de barras e islas corresponden a un proceso natural de la capacidad de transporte del río Magdalena, el puente ha acelerado la formación de nuevas barras en Galán (sitio actual del puente), permitiendo una fuerte sedimentación de la orilla izquierda-Yondó, y la consolidación de las islas aguas arriba, ocasionando problemas para la navegabilidad de esta importante arteria fluvial y afectando considerablemente el dique de Yondó en Puntas Carmelitas.

Se pueden inferir que el thalweg se encuentra golpeando fuertemente el dique de Yondó en Puntas Carmelitas, se abre entre las islas y se direcciona hacia Barrancabermeja casi frente al Muelle de ECOPETROL golpeando fuertemente esta orilla hasta Galán (sitio del puente).

Se recomienda hacer una revisión física de las condiciones del tablestacado, y posiblemente profundizarlas para disminuir el impacto erosivo que pueda llegar a tener esa margen del río ya que actualmente el cauce se ha entallado considerablemente, socavando dichas estructuras.

Seria conveniente realizar un levantamiento batimétrico desde Puntas Carmelitas hasta la Isla cuatro Bocas para así determinar la sinuosidad, y el direccionamiento real del thalweg.

Conviene, hacer un seguimiento del thalweg periódicamente para poder disminuir y controlar los efectos erosivos en ambas márgenes del río, debido a la importancia de esta zona.

BIBLIOGRAFIA

Estudio sobre el Modelo Hidráulico y Fondo Móvil. Universidad Nacional de Colombia, marzo de 2003.

Martínez, L.Y y Ramírez, J. A. Estudios del Comportamiento de la Socavación en la Vecindad de los Espolones en el Río Magdalena en el Sector Puerto Carmelitas-Puerto Casabe. Tesis de Grado. Universidad Industrial de Santander, 2000. Pág 60-86

Peréz, J. Ingeniería de Ríos. Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña, España, 2001. Pág 25-95

Stream stability at highway structures HEC-20 (Third Edition). US National Highway Institute. 2001

Suárez, J. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2001. Pág 100-132

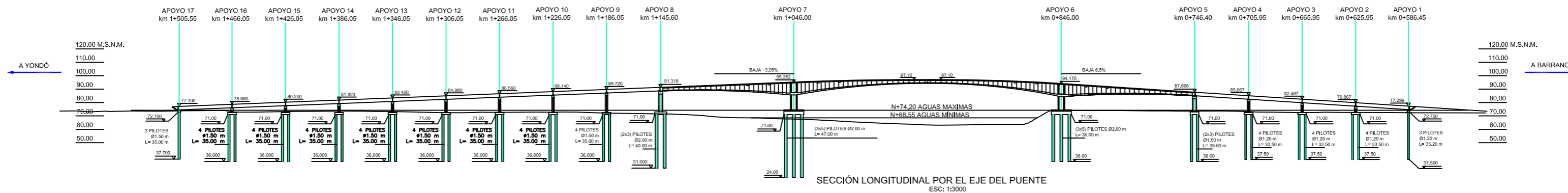
Suárez, J . Presentación Electrónica: Problemática del Río Magdalena y el Puente Barrancabermeja-Yondó. Interventoría Universidad Industrial de Santander Universidad - Convenio de Cooperación Institucional con el Instituto Nacional de Vías, 2001.

Ward, D. Goldsmith, R. Cruz, J y Restrepo H. Boletín Geológico. Geología de los Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona Departamento de Santander. Volumen XXI. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras. Colombia 1973. Pág 92-94








Las fotografías digitales me fueron permitidas por el Ing. Jaime Suárez Díaz y el Ing. Dagoberto Rocha (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS).

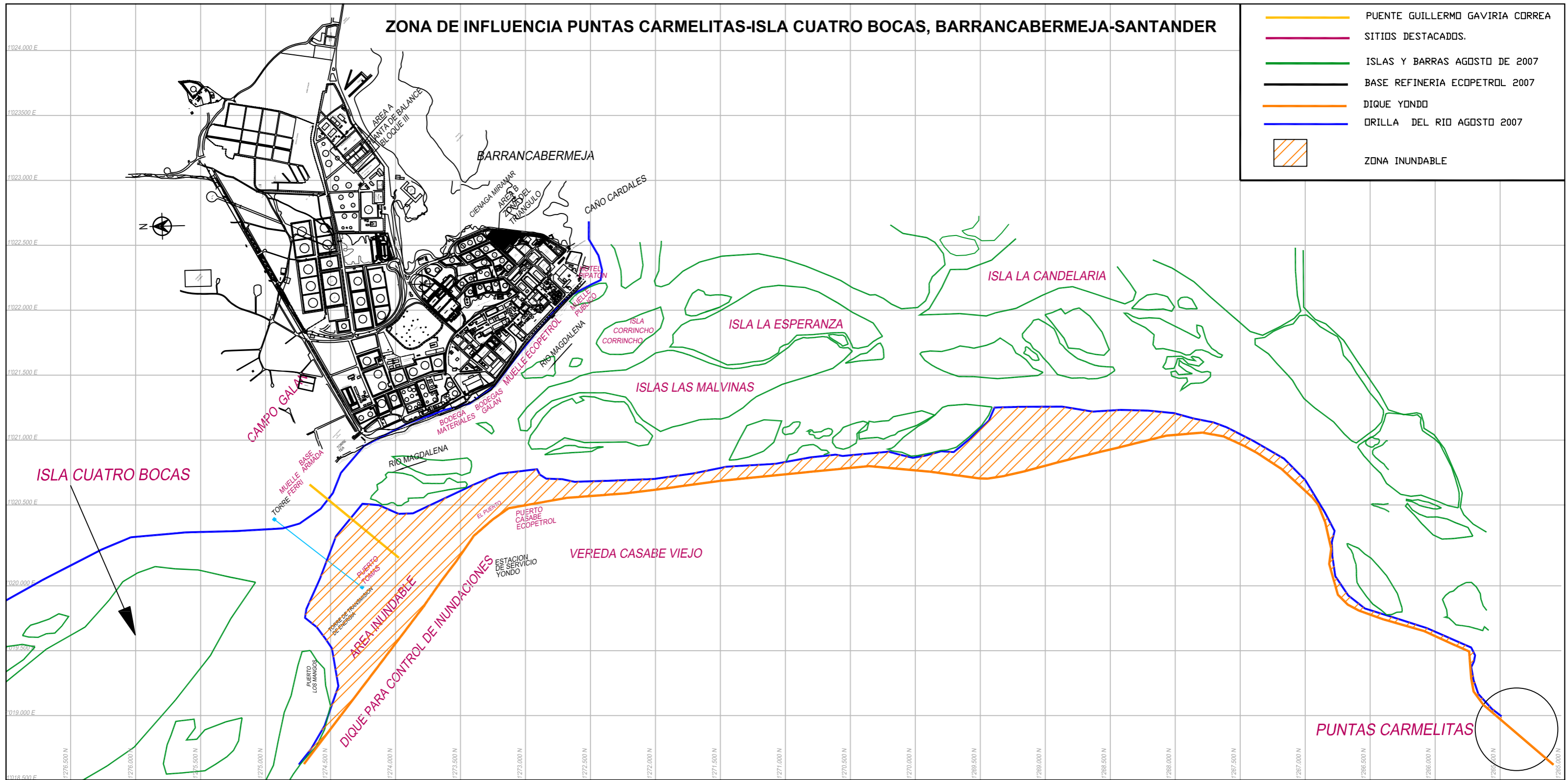
ANEXOS


PERFIL DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA

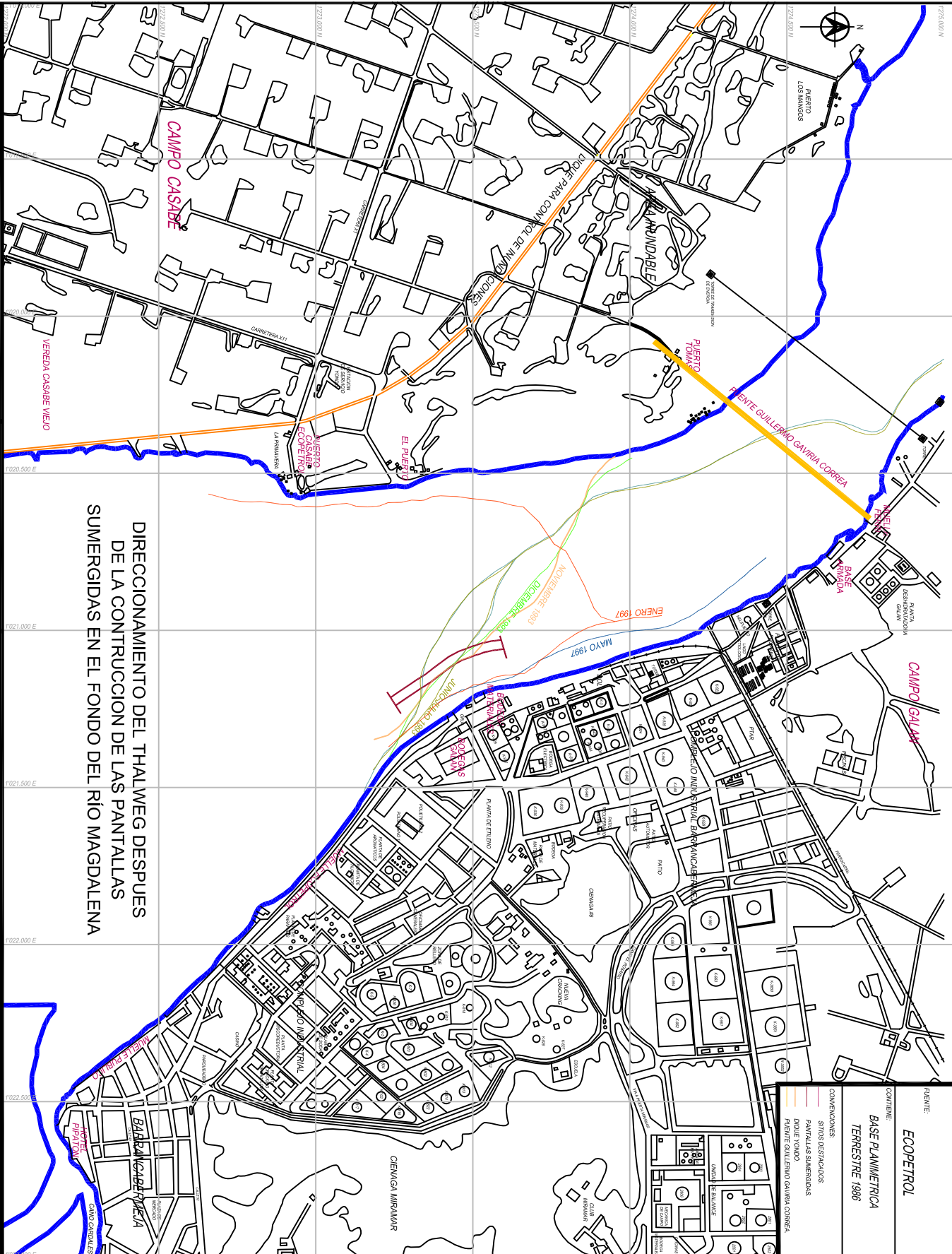


ZONA DE INFLUENCIA PUNTAS CARMELITAS-ISLA CUATRO BOCAS, BARRANCABERMEJA-SANTANDER

-  PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA
-  SITIOS DESTACADOS.
-  ISLAS Y BARRAS AGOSTO DE 2007
-  BASE REFINERIA ECOPETROL 2007
-  DIQUE YONDO
-  ORILLA DEL RIO AGOSTO 2007
-  ZONA INUNDABLE



	<p>ZONA DE INFLUENCIA PUNTAS CARMELITAS-ISLA CUATRO BOCAS, BARRANCABERMEJA-SANTANDER</p>	<p>CONTIENE: PLANTA RIO MAGDALENA ENERO 2007.</p>	<p>DIGITALIZO: LAURA MARGARITA AYALA BLANCO</p> <p>PLANOS DE REFERENCIACION: GEOTECNOLOGIA, DOL ECOPETROL REFINERIA</p>	<p>REVISO: ING. JAIME SUAREZ DIAZ</p> <p>ING. LEONARDO DONADO</p>	<p>ESCALA: 1:25000</p>	<p>ANEXO: 2</p>
---	---	---	---	---	----------------------------	----------------------------



ECOPETROL

CONTIENE:
BASE PLANIMETRICA
TERRESTRE 1988

- CONVENCIONES:
- SITIOS DESTACADOS
 - PANTALLAS SUMERGIDAS
 - DIQUE VENCIO
 - PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA

DIRECCIONAMIENTO DEL THALWEG DESPUES DE LA CONSTRUCCION DE LAS PANTALLAS SUMERGIDAS EN EL FONDO DEL RIO MAGDALENA



DIRECCIONAMIENTO DEL THALWEG DESPUES DE LA CONSTRUCCION DE LAS PANTALLAS SUMERGIDAS EN EL FONDO DEL RIO MAGDALENA.

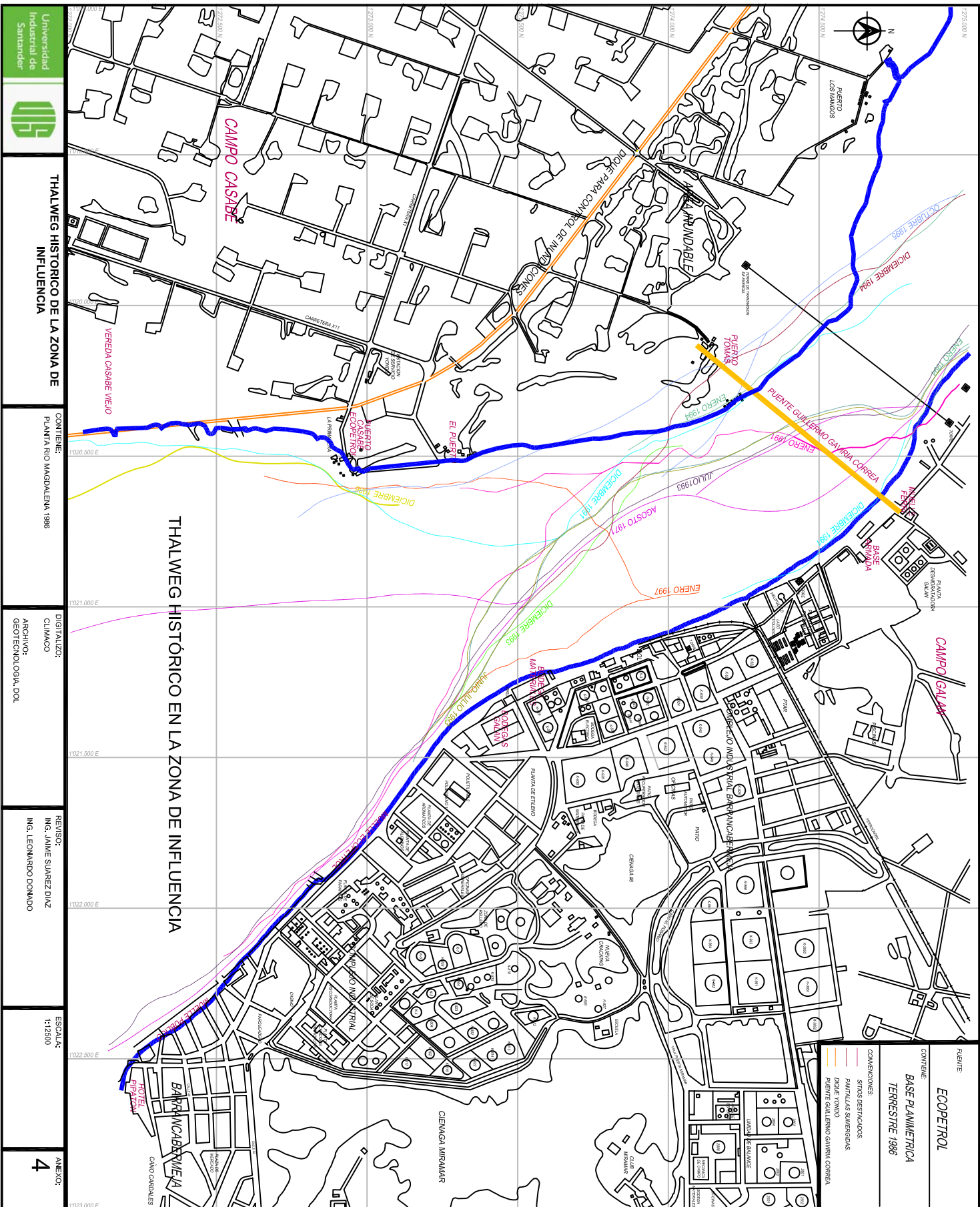
CONTIENE:
PLANTA RIO MAGDALENA

DISEÑALZO:
ARCHIVO:
GEOLOGIA, DOL.

REVISOR:
ING. JAVIER SUAREZ DIAZ
ING. LEONARDO DOMAGO

ESCALA:
1:12500

ANEJO:
3



THALWEG HISTÓRICO EN LA ZONA DE INFLUENCIA

FUENTE:
ECOPETROL

CONTIENE:
BASE PLANIMÉTRICA TERRESTRE 1986

CONVENCIÓNES:
 SITIOS DESTACADOS
 PANITALLAS SUMERGIDAS
 DIQUE TONOLO
 PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA

Universidad Industrial de Santander



THALWEG HISTÓRICO DE LA ZONA DE INFLUENCIA

CONTIENE:
PLANTA RIO MAGDALENA, 1986

DIGITALIZO:
CLIMACO

ARCHIVO:
GEOLOGIA, DOL

REVISOR:
ING. JAMIE SUAREZ DIAZ

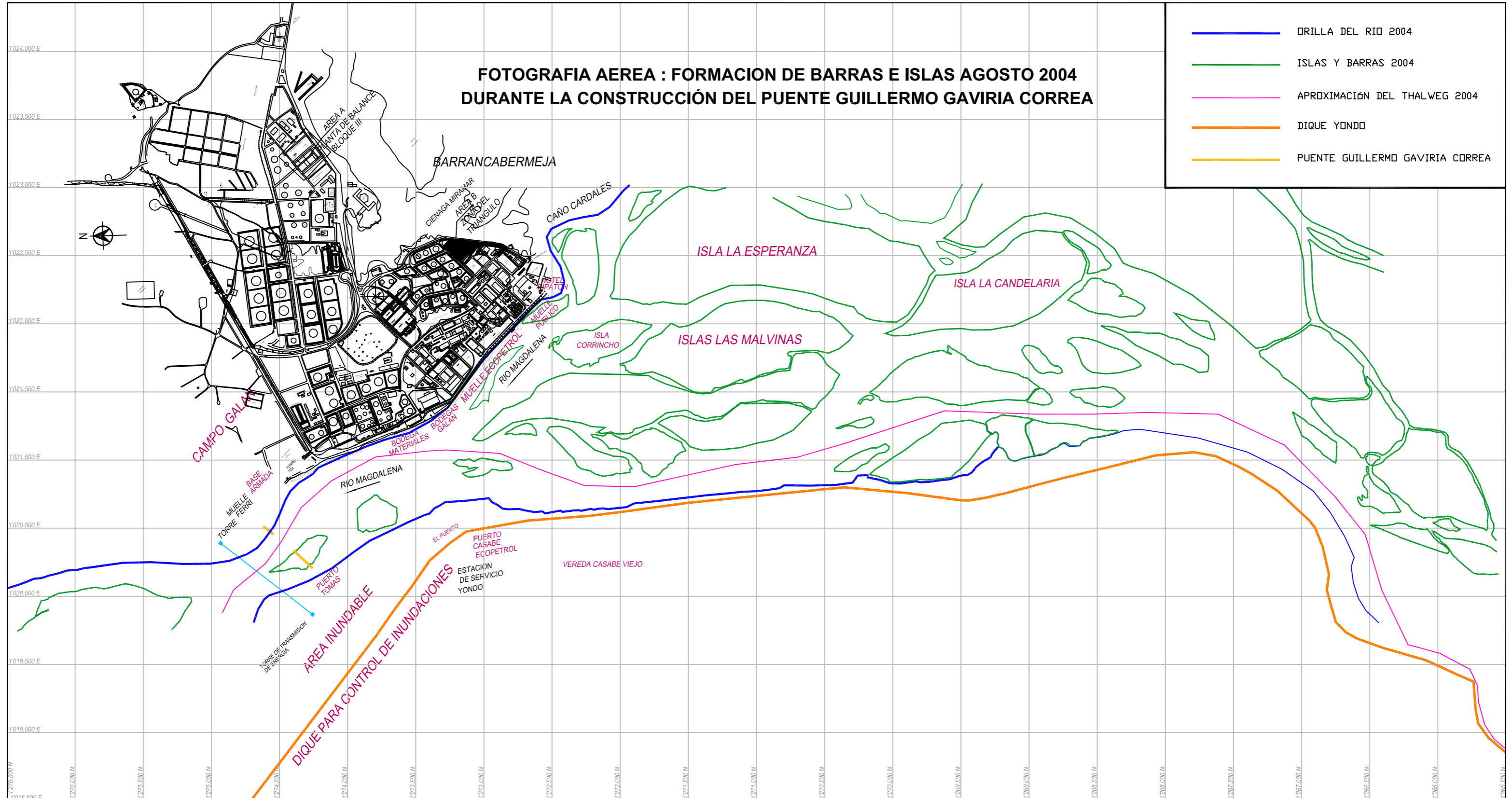
ING. LEONARDO DOMADO

ESCALA:
1:12500

ANEXO:
4

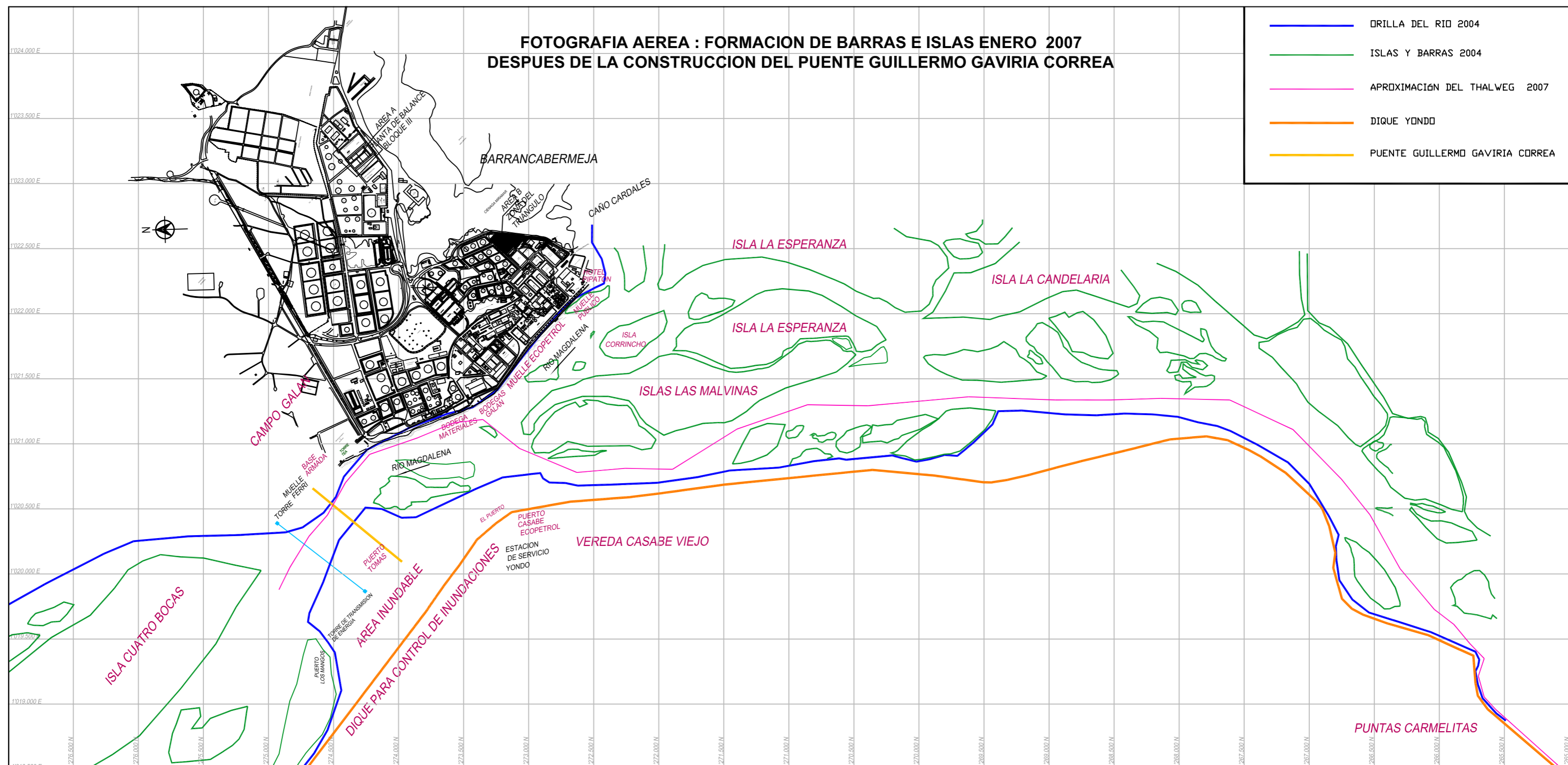
**FOTOGRAFIA AEREA : FORMACION DE BARRAS E ISLAS AGOSTO 2004
DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA**

- ORILLA DEL RIO 2004
- ISLAS Y BARRAS 2004
- APROXIMACIÓN DEL THALWEG 2004
- DIQUE YONDO
- PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA



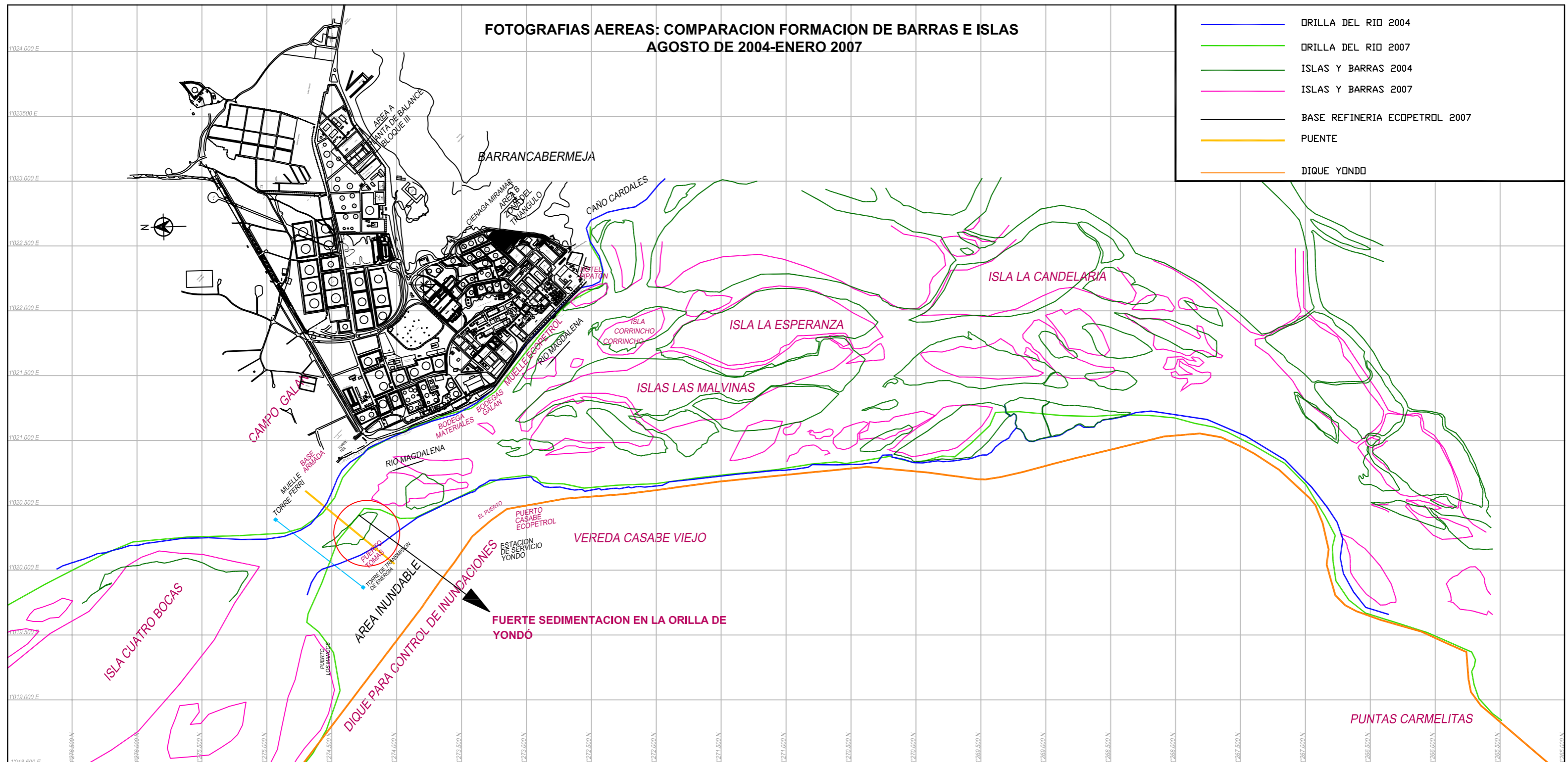
**FOTOGRAFIA AEREA : FORMACION DE BARRAS E ISLAS ENERO 2007
DESPUES DE LA CONSTRUCCION DEL PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA**



- DRILLA DEL RIO 2004
- ISLAS Y BARRAS 2004
- APROXIMACIÓN DEL THALWEG 2007
- DIQUE YONDO
- PUENTE GUILLERMO GAVIRIA CORREA



**FOTOGRAFÍAS AERIAS: COMPARACION FORMACION DE BARRAS E ISLAS
AGOSTO DE 2004-ENERO 2007**

- DRILLA DEL RIO 2004
- DRILLA DEL RIO 2007
- ISLAS Y BARRAS 2004
- ISLAS Y BARRAS 2007
- BASE REFINERIA ECOPETROL 2007
- PUENTE
- DIQUE YONDO



		FOTOGRAFÍAS AÉREAS: COMPARACIÓN DE BARRAS E ISLAS AGOSTO 2004-ENERO 2007	CONTIENE: PLANTA RIO MAGDALENA ENERO 2007.	DIGITALIZO: LAURA MARGARITA AYALA BLANCO PLANOS DE REFERENCIACION: GEOTECNOLOGIA. DOL ECOPETROL REFINERIA	REVISO: ING. JAIME SUAREZ DIAZ ING. LEONARDO DONADO	ESCALA: 1:25000	ANEXO: 7
---	---	---	---	---	---	--------------------	--------------------