

**GEOMORFOLOGIA DEL VALLE FLUVIAL RIO TEBICUARY,
EN LAS CERCANIAS DE LA CIUDAD DE VILLA FLORIDA.
REGION ORIENTAL**

LUZ MARINA LEGUIZAMÓN LÓPEZ

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de título del
grado de Licenciatura en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

San Lorenzo - Paraguay
Diciembre – 2016

**GEOMORFOLOGIA DEL VALLE FLUVIAL RIO TEBICUARY,
EN LAS CERCANIAS DE LA CIUDAD DE VILLA FLORIDA.
REGIÓN ORIENTAL**

LUZ MARINA LEGUIZAMÓN LÓPEZ

Orientador: PROF. MSC. NARCISO CUBAS VILLALBA

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de título del
grado de Licenciatura en Ciencias Mención Geología, Departamento de Geología.

Universidad Nacional de Asunción
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

San Lorenzo - Paraguay
Diciembre – 2016

**GEOMORFOLOGIA DEL VALLE FLUVIAL RIO TEBICUARY,
EN LAS CERCANIAS DE LA CIUDAD DE VILLA FLORIDA.
REGION ORIENTAL**

Este trabajo de grado fue aprobado por la Meza Examinadora como requisito parcial para la Obtención de Título de Licenciatura en Ciencias Mención Geología, otorgado por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción.

LUZ MARINA LEGUIZAMÓN LÓPEZ

Aprobado en Fecha 29 de Diciembre de 2016

Comité Asesor de trabajo de Grado

1. Prof. MSc. Higinio Moreno Resquin.....
2. Lic. Diego López.....

.....
Prof. MSc NARCISO CUBAS VILLALBA
Orientador

A mis padres, Lucio Leguizamón y Perla López.

A mis hermanos Liz y Ramón.

DEDICO

AGRADECIMIENTO

A Dios y Nuestra Madre María por estar conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mis padres, por brindarme todo su apoyo y comprensión, por enseñarme a valorar todo lo que me han dado, porque son la razón de mi lucha y simplemente porque gracias a ellos soy lo que soy. Gracias Papá y Mamá.

Al Profesor MSc. Narciso Cubas por orientarme pacientemente en la realización del presente trabajo.

Al Profesor MSc. Higinio Moreno Resquín por guiarme en la elaboración de este trabajo.

A la Profesora Lic. Sonia Molinas por su consejo y colaboración cuando lo fue necesario.

Al Profesor Lic. Moisés Gadea su valiosa ayuda y aporte ha sido fundamental para mi formación en el transcurso de esta carrera.

Al compañero Federico Arguello por su asistencia y colaboración durante el proceso de la realización de este trabajo.

**GEOMORFOLOGIA DEL VALLE FLUVIAL RIO TEBICUARY,
EN LAS CERCANIAS DE LA CIUDAD DE VILLA FLORIDA.
REGION ORIENTAL**

Autor: Luz Marina Leguizamón López

Orientador: Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

RESUMEN

Los ríos forman uno de los principales agentes de modelado del relieve terrestre, la evolución que va adoptando con el tiempo va generando diversos tipos de formas y sistemas fluviales. Teniendo en cuenta que el Río Tebicuary constituye una de las cuencas más extensas de la Región Oriental, compartida entre los departamentos de Paraguairí, Guairá, Caaguazú, Misiones, Itapúa, Cordillera, Ñeembucú y Caazapá, la investigación se enmarcó en un sector del mismo.

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la Geomorfología del valle fluvial Río Tebicuary, en la cercanía de la ciudad de Villa Florida ubicada en la localidad de Manga Itá hasta su confluencia con el arroyo San Juan. Una vez delimitada la zona de estudio fue propicia para analizar el trazado fluvial desarrollado por el mismo. Utilizando imágenes satelitales e imágenes de google earth, apoyados en herramientas como el Sistema de Información Geográfica fue posible la caracterización y clasificación del sistema fluvial actual desarrollado por el río, con mapas temáticos que representen dicha información.

La dinámica fluvial responde a meandros del tipo irregular, a la vez tortuoso, éstos al migrar de su curso generan estrangulamientos, desbordes de canal y meandros abandonados a lo largo del mismo. Estas características generadas además de la erosión y sedimentación desarrollada por el río son producto de la evolución en etapa madura generada por el Río Tebicuary en la zona de estudio.

Palabras Claves: Geomorfología, Sistemas Fluviales, Río Tebicuary, Imágenes Satelitales, Sistema de Información Geográfica

GEOMORPHOLOGY OF THE FLUVIAL VALLEY RIO TEBICUARY, IN THE SURROUNDINGS OF THE CITY OF VILLA FLORIDA. EASTERN REGION

Author: Luz Marina Leguizamón López
Advisor: Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

SUMMARY

The rivers form one of the main agents of modeling of the terrestrial relief, the evolution that is adopting with the time is generating diverse types of forms and fluvial systems. Considering that the Tebicuary River constitutes one of the most extensive basins of the Eastern Region, shared between the departments of Paraguairí, Guairá, Caaguazú, Misiones, Itapúa, Cordillera, Ñeembucú and Caazapá, the investigation was framed in a sector of the same.

This work was framed as an objective to determine the Geomorphology of the river valley Tebicuary, in the vicinity of the city of Villa Florida located in the town of Manga Itá until its confluence with the stream San Juan. Once delimited the study area was propitious to analyze the fluvial trajectory developed by the same. Using satellite images and images of google earth, supported by tools such as the Geographic Information System, it was possible to characterize and classify the current river system developed by the river, with thematic maps that represent this information.

The river dynamics responds to meanders of the irregular type, at the same time tortuous, these migrating from its course generate strangulations, channel overflows and meanders abandoned along the same. These characteristics generated in addition to the erosion and sedimentation developed by the river are a product of the mature stage evolution generated by the Tebicuary River in the study area.

Keywords: Geomorphology, River Systems, Tebicuary River, Satellite Images, Geographic Information System

ÍNDICE	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. HIPÓTESIS.....	4
5. OBJETIVOS	5
5.1 Objetivo General	5
5.2 Objetivos Específicos.....	5
6. MARCO TEÓRICO.....	6
6.1 Geomorfología	6
6.2 Geomorfología Fluvial.....	6
6.3 Origen de los sistemas Fluviales	7
6.4 Trabajo Geológico de los ríos	7
6.4.1 Erosión	8
6.4.1.1 Acción Hidráulica.....	8
6.4.1.2 Abrasión.....	8
6.4.1.3 Atricción.....	8
6.4.2 Transporte.....	8
6.4.3 Sedimentación	8
6.5 Evolución de la vida de un río.....	9
6.6 Clasificación del río de acuerdo a su geometría.....	11
6.6.1 Rectos	11
6.6.2 Trenzados	11
6.6.3 Serpenteantes o Meándrico.....	12
6.7 Ríos Meándricos	13

6.7.1 Geometría de meandros.....	14
6.7.2 Clasificación de ríos meandricos.....	15
6.7.2.1 Por sus propiedades geométricas.....	15
6.7.2.1.1 Sinuoso en forma de canal.....	15
6.7.2.1.2 Sinuoso con barras prominentes.....	15
6.7.2.1.3 Trenzado.....	16
6.7.2.2 Corte de meandros o estrangulamiento.....	16
6.7.2.3 Cambios de posición del cauce.....	17
6.7.3 Procesos de Depósito.....	17
6.7.3.1 Depósitos de canal.....	18
6.7.3.2 Depósitos de barras de punto.....	18
6.7.3.3 Depósitos de Bordo.....	18
6.7.3.4 Depósitos de planicie de inundación.....	18
6.7.3.5 Depósitos de desborde.....	18
6.7.3.6 Depósitos de lago lateral.....	19
6.7.4 Características de los sedimentos.....	19
6.8 El Satélite Landsat.....	20
6.8.1 Combinación de bandas.....	20
7. UBICACIÓN.....	21
8. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	23
8.1 Geología del área de estudio.....	23
8.2 Hidrología.....	25
8.3 Demografía.....	26
8.4 Clima y vegetación.....	27
9. METODOLOGÍA.....	28
10. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	30
10.1 Descripción Imagen Satelital.....	30
10.2 Descripción Cuenca Baja Río Tebicuary. Sector 1.....	32
10.3 Descripción Cuenca Baja Río Tebicuary. Sector 2.....	33
10.4 Descripción Cuenca Baja Río Tebicuary. Sector 3.....	34
10.5 Descripción Mapa Sistema Fluvial.....	35

11. CONCLUSIÓN	36
12. ANEXO.....	37
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	39

LISTA DE FIGURAS	Página
Figura 1: Evolución de un río y su valle	10
Figura 2: Etapa final en la evolución de un río	10
Figura 3: Tipos de ríos de acuerdo a su geometría.....	13
Figura 4: Tipos de curvas que desarrolla un meandro	14
Figura 5: Esquema evolutivo de un meandro.....	14
Figura 6: Tipos de sinuosidad	15
Figura 7: Desarrollo en planta de un meandro	16
Figura 8: Representación esquemática en planta de un corte meandrico.....	16
Figura 9: Movilidad del cauce.....	17
Figura 10: Forma de desarrollo y migración de meandros	17
Figura 11: Característica morfológica de un sistema fluvial meandrico	19
Figura 12: Mapa Localización del área de estudio.....	21
Figura 13: Vista general del área de estudio	22
Figura 14 Ubicación Geográfica de la cuenca del Río Tebicuary	26
Figura 15: Imagen Satelital Cuenca Baja del Río Tebicuary	31
Figura 16: Identificación de unidades geomorfológicas de la Cuenca Baja Río Tebicuary Sector 1	32
Figura 17: Identificación de unidades geomorfológicas de la Cuenca Baja Río Tebicuary Sector 2	33
Figura 18: Identificación de unidades geomorfológicas de la Cuenca Baja Río Tebicuary Sector 3	34
Figura 19: Mapa Sistema Fluvial Cuenca Baja Río Tebicuary	35

1. INTRODUCCIÓN

La geomorfología fluvial es el proceso por el cual la acción de los ríos modifica de alguna manera el relieve terrestre y el propio trazado de los mismos. Los ríos son elementos naturales que recoge las aguas de una cuenca y las transportan en cualquier régimen hasta su desembocadura, son de carácter permanente que circulan por un lecho, se organizan en redes y realizan un trabajo geomorfológico de erosión, transporte y sedimentación (Elosegi 2009).

Los procesos de escurrimiento del agua hacia los ríos, la excavación, el arrastre de sedimentos por las corrientes, operan de acuerdo con principios físicos, hidráulicos y mecánicos, que permiten explicar el desarrollo de las formas de relieve, y lo más importante, predecir cómo evolucionarán esas formas en el futuro.

Este trabajo se orienta en establecer la característica geomorfológica fluvial del Valle Río Tebicuary, en las cercanías de la ciudad Villa Florida, el segmento de la zona de estudio se ubica hacia el Oeste entre localidad de Manga Ita hasta su confluencia con el arroyo San Juan; el mismo consistió en identificar las principales unidades geomorfológicas, clasificando el tipo de canal fluvial como meandros irregulares, ello a través de las imágenes satelitales y utilizando el Sistema de Información Geográfica como técnica de análisis, aprovechando la potencia de cálculo de estas herramientas para lograr identificar de forma rápida y sencilla tramos fluviales, a manera de conocer pretendiendo sea útil para la investigación sobre estos temas y para la ordenación de áreas fluviales; dada la importancia ecológica, social y económica del Río Tebicuary.

La cuenca del Río Tebicuary posee un área de 27.324 kilómetros cuadrados, con un cauce principal de 500 kilómetros de longitud, y desemboca en el Río Paraguay. Está compartida entre los departamentos de Paraguairí, Guairá, Caaguazú,

Misiones Itapúa, Cordillera, Ñeembucú y Caazapá. Es la cuenca más extensa en la Región Oriental (Informe- SEAM, 2016)

El presente trabajo, es realizado como requisito a ser cumplido para la obtención del título de Licenciado en Ciencias Mención Geología, desarrollado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN) de la Universidad Nacional de Asunción.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios de morfología de ríos son muy complejos debido a la gran cantidad de factores involucrados, como esos factores varían con el tiempo, además de mencionar que la dinámica de los sistemas fluviales es controlado en parte por las interacciones entre los factores naturales y los cambios inducidos por el hombre.

El área de estudio correspondiente a la cuenca baja del Río Tebicuary, ha afrontado varios problemas socio-ambientales, entre ellas se destaca el uso irracional del cauce para riego de la agricultura mecanizada, generando la alteración del ciclo natural de la cuenca. Al mismo tiempo la escasa información en lo que refiere a la geomorfología fluvial, la manera como el agua encauzada realiza una gran dinámica, con enorme poder de desgaste, acumulación y transporte de carga, modelando el relieve y provocando en muchos casos avenidas e inundaciones, principalmente desbordes de canales que se observa tras una intensa precipitación. La necesidad de contar con un modelado de los sistemas fluviales es en parte la problemática expuesta.

3. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas la importancia de la geomorfología como base para comprender y valorar espacios naturales ha ido en aumento, esta mayor concienciación en el valor geomorfológico y la necesidad de efectuar estudios que profundicen en la relación entre los distintos componentes del medio natural y humano que ayuden en la comprensión del funcionamiento de un río.

Con este trabajo se pretende realizar una caracterización de la geomorfología fluvial del Río Tebicuary en la cercanía de la ciudad de Villa Florida, municipio de Manga Ita hasta su confluencia con el arroyo San Juan; dada su importancia ecológica, social, y económica, con la intención de aportar información para una mejor comprensión de los tipos de canales fluviales que actualmente desarrolla el río.

Este trabajo forma parte del requisito académico para la obtención del título de grado de la carrera de Geología.

4. HIPÓTESIS

Hi: El estado geomorfológico fluvial del Río Tebicuary en la cercanía de la ciudad de Villa Florida, municipio Manga Ita hasta su confluencia con el Arroyo San Juan, responde a la etapa evolutiva de un río maduro.

Ho: El estado geomorfológico fluvial del Río Tebicuary en la cercanía de la ciudad de Villa Florida, municipio Manga Ita hasta su confluencia con el Arroyo San Juan no responde a la etapa evolutiva de un río maduro.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General:

Determinar las características geomorfológicas del valle fluvial Rio Tebicuary, en las cercanías de la ciudad de Villa Florida, municipio Manga Ita hasta su confluencia con el Arroyo San Juan.

5.2 Objetivos Específicos:

- Delimitar la zona de estudio.
- Clasificar el tipo de canal fluvial.
- Identificar las principales unidades geomorfológicas.
- Modelar el sistema fluvial actual del río a través de la herramienta Sistema de Información Geográfica (SIG).

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Geomorfología

El término geomorfología proviene del griego: geos (Tierra), morfeé (forma) y logos (estudio, conocimiento); esta ciencia se preocupa de la forma de la tierra. Como ciencia estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre, además de las interacciones entre varios tipos de materiales implicados en el proceso. Tradicionalmente, la geomorfología se ha ocupado de los estudios a escala media en los que se analizan los diferentes eventos geomórficos que han configurado, a lo largo del tiempo, el relieve actual (Elorza 2008).

6.2 Geomorfología Fluvial

El objetivo fundamental de esta ciencia es la explicación de las relaciones entre los procesos físicos del flujo en canales de lecho móvil, la mecánica del transporte de sedimentos forzado por el flujo y las formas de los canales aluviales. El desarrollo de la geomorfología fluvial ha ido parejo al incremento de conocimientos en geomorfología.

Las actividades de un río se desarrollan en el valle fluvial y en su cuenca de drenaje, que constituyen el paisaje fluvial. Una cuenca de drenaje comprende toda el área de la cual una corriente y sus tributarios reciben agua y cada tributario tiene también su propia área de drenaje, que forma parte de la cuenca más grande. Cada corriente, aun el más pequeño, tiene su propia cuenca de drenaje, cuya forma difiere de una corriente a otra.

Los ríos son los principales agentes formadores del paisaje dependiendo de la litología, las estructuras geológicas por donde discurren y de los procesos activos e inactivos presentes en una determinada región (erosión, transporte, depositación),

van conformando configuraciones diferentes de paisajes. Las tasas de evolución de los procesos que moldean el paisaje en un sistema fluvial están condicionadas por el clima, las actividades humanas que generan o imponen controles al flujo, y por los controles estructurales (como la subsidencia, movimientos tectónicos) generadores de fallas, pliegues, fracturas (Elorza 2008).

6.3 Origen de los Sistemas fluviales

Como resultado del escurrimiento superficial la lluvia que golpea el suelo desprotegido arrastra primero pequeñas partículas, las cuales se involucran después en el proceso de erosión laminar. El agua que arrastra estas partículas alcanza muy rápidamente zonas de convergencia, para continuar su descenso por las rutas más cortas y pendientes, junto con el agua que brota de los manantiales. Se establece entonces un flujo turbulento, cada vez más concentrado, que progresivamente da lugar, primero a cárcavas, arroyos y torrentes y luego a ríos con cursos bien definidos a lo largo de los cuales el agua escurre junto con el material desalojado por la erosión.

Cada corriente excava su propio valle, el cual se integra en forma ramificada con otras corrientes, en el fondo se van acumulando los materiales arrastrados y, a través de estos depósitos, el agua comienza a moverse más lentamente que la que fluye por la superficie del lecho. Por encima del nivel de estos ríos mayores, descenden las corrientes menores de alta montaña que los alimenta, y que se van articulando casi al mismo nivel, de forma semejante a las venas de una hoja, hasta integrar sistemas de corrientes los cuales cumplen un papel específico dentro del ciclo hidrológico (Díaz 2005)

6.4 Trabajo geológico de los ríos

El trabajo geológico de los ríos consiste en tres actividades interrelacionadas: erosión, transporte de clastos y depósito selectivo de sedimentos. Naturalmente la erosión no puede ocurrir sin que exista algo de transporte, y las partículas transportadas han de acabar depositándose. Por lo tanto, la erosión, transporte y sedimentación son solo tres fases de la misma actividad.

6.4.1 Erosión: Originada por la corriente es la progresiva remoción de material mineral del fondo y de las orillas del cauce. En la erosión fluvial se presentan tres modalidades: acción hidráulica, abrasión y atrición

6.4.1.1 Acción hidráulica: Se refiere a la fuerza misma del agua, capaz de desalojar partículas de suelos, aún arrancar bloques y fragmentos grandes de roca, del fondo o paredes del cauce, dejando expuestas superficies ásperas.

6.4.1.2 Abrasión: Efecto del desgaste mecánico entre los bloques acarreados por la corriente y la roca del lecho, o entre los fragmentos mismos que se mueven a velocidades diferentes.

6.4.1.3 Atrición: Es la fragmentación y desintegración de los bloques de roca al chocar entre si mientras son arrastrados por la corriente.

6.4.2 Transporte: Consiste en el movimiento de las partículas erosionadas mediante el arrastre por el fondo. El transporte de los sedimentos se realiza de tres maneras diferentes: en estado de solución (carga previamente disuelta); en suspensión (carga suspendida) o por tracción (carga de fondo que se desplaza saltando, rodando). Si la velocidad de la corriente decrece lentamente, los fragmentos más grandes y pesados se detienen y se acumulan, mientras que las partículas pequeñas se siguen moviendo provocando una clasificación por tamaños y densidades. Solo rara vez la velocidad de la corriente se detiene tan repentinamente que las partículas de diferente tamaño se depositen juntas, pero puede ocurrir cuando una corriente emerge de la zona montañosa a la zona plana formándose entonces un abanico aluvial. Se habla de capacidad a la cantidad total de sedimentos que puede transportar una corriente (Tarbuck, 1999)

6.4.3 Sedimentación: Es la acumulación progresiva de las partículas transportadas sobre el lecho del río, sobre el lecho de inundación o en el fondo de una masa de agua no corriente en la que desemboca un curso de agua. A medida que el río pierde capacidad para transportar su carga crea muchos tipos de depósitos de sedimentos con formas distintivas (Strahler, 1979).

6.5 Evolución de la vida de un río

La evolución en la vida de un río pasa por etapas o ciclos y se divide en tres etapas principales: juventud, madurez y vejez o zonas planas. Cada una de estas etapas tiene sus propias características, sin embargo, resulta difícil establecer límites precisos entre dichas etapas. El ciclo de erosión brinda una descripción cualitativa de los valles de los ríos y de las áreas, pero cuando se trata de asignarles valores cuantitativos surgen las dificultades, pero el concepto es un artificio de gran valor, que permite describir con palabras el marco de desarrollo de un valle o de una región.

El rasgo más característico de una corriente joven es la actividad de esa corriente y la rápida erosión de su cauce. En esta etapa, las laderas del valle llegan directamente o casi a las orillas del río y adoptan un perfil transversal en forma de V. No existe planicie de inundación, o sólo una muy angosta. El gradiente de la corriente es pronunciado, marcado por cascadas y rápidos y los tributarios tienden a ser pocos y pequeños.

En un río maduro, la velocidad de corte hacia abajo es más lenta; el gradiente más suave y la mayoría de las cascadas y rápidos han sido eliminados. A medida que avanza el ensanchamiento del valle con mayor rapidez que su profundización, comienza a formarse una planicie de inundación; y la corriente comienza a divagar o a hacer meandros a través de la planicie. En esta etapa ha alcanzado el valle su mayor profundidad. Es la de transferencia o transporte de agua y sedimentos de la zona de montaña a la zona baja. La energía del río se consume en profundizar y ampliar el cauce. El río forma meandros y trezamientos.

En la etapa de vejez, el ensanchamiento del valle, aunque lento, todavía predomina sobre el corte hacia abajo y la planicie de inundación es más ancha que la faja de meandros. Los lagos en “media luna”, los meandros abandonados y los bordos naturales son ahora más comunes que en la madurez. Corresponde a la parte baja en donde el sedimento se deposita. Se caracteriza por tener pendientes bajas, velocidades bajas y altos caudales. El cauce transcurre en estratos aluviales de gran espesor. La tendencia del cauce es a ampliarse (Strahler 1979)

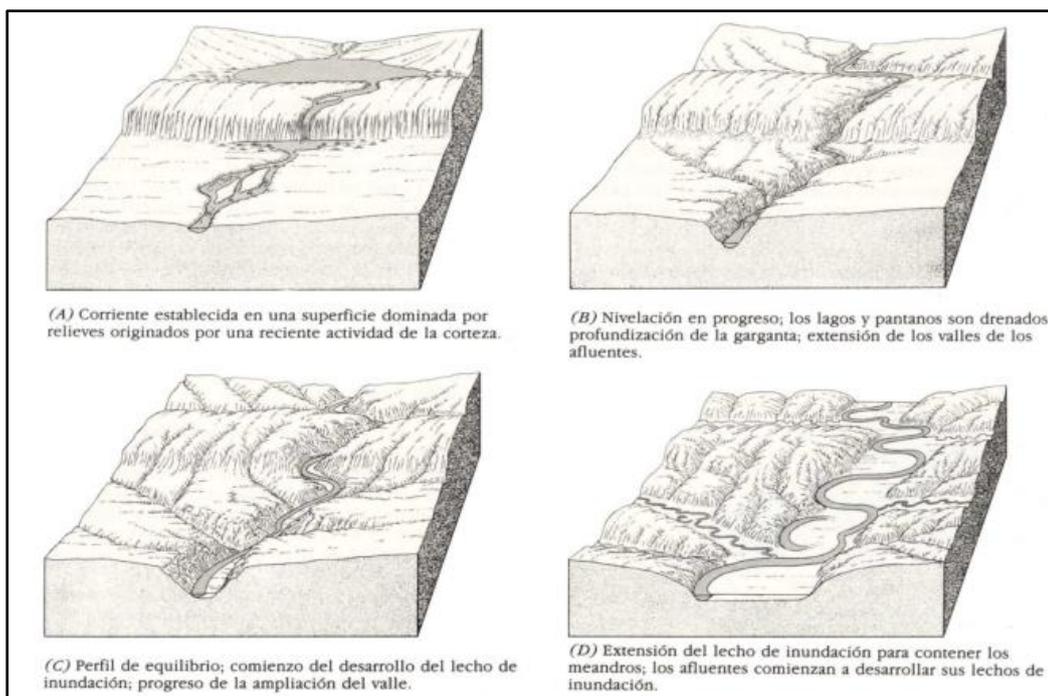


Figura1: Evolución de un río y su valle. En la imagen A) se observa el inicio de la actividad erosiva del río, que prosigue su etapa B) un valle joven, característico con forma de V. C) El río desarrolla un ensanchamiento del valle y D) Etapa de vejez, se forman los meandros abandonados, y la planicie de inundación es mayor que el meandro. Extraído de Strahler, (1979)

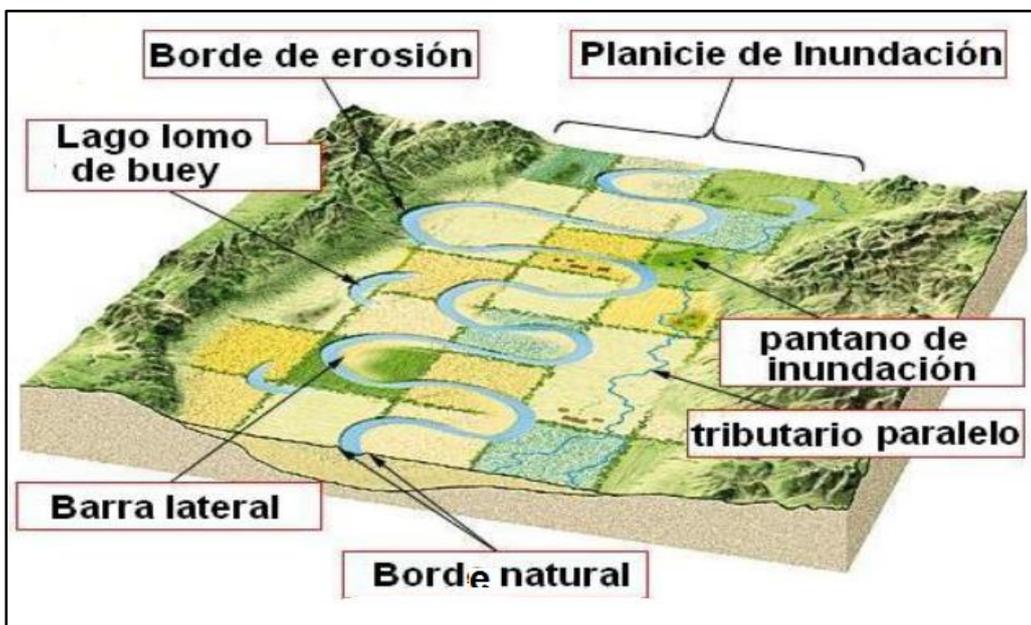


Figura2: Etapa final en la evolución de un río, desarrolla un tipo de meandro, que va erosionando los bordes del terreno, y depositando sedimentos en la parte de la barra lateral, cuando cambia de curso generan los meandros abandonados o lado lomo de buey. Además en épocas de crecida aumenta el nivel del cauce generando avenidas en su llanura de inundación, por lo que a su vez va generando pantanos de inundación. Extraído de Díaz. (2005).

6.6 Clasificación del río de acuerdo a su geometría

Representa la forma del canal en el plano horizontal como sería una vista aérea del canal. El patrón de alineamiento está íntimamente relacionado con los procesos de erosión y transporte de sedimentos en la corriente y por ende con la estabilidad lateral de la misma. Depende de la composición litológica y de las estructuras geológicas como ser fallas, diaclasas, contactos litológicos; puesto que en algunas oportunidades ofrecen control al alineamiento del canal. Se presentan tres patrones de canal, dependiendo de su sinuosidad, recto, trenzado y meándrico o serpenteado. La forma del valle variará para estos patrones de alineamientos ya que éstos dependen parcialmente de los controles interpuestos por el valle a la migración lateral.

6.6.1 Rectos: Canales rectos son aquellos que presentan una sinuosidad menor de 1.5 en un cauce único. Rara vez se presentan en la naturaleza, y sólo se observan en tramos relativamente cortos de las corrientes, excepto cuando discurren por una falla geológica. En estos casos el valle es estrecho y la estabilidad lateral del canal es alta debido al control geológico ante los procesos de migración lateral. También se encuentran tramos rectos uniendo las curvas de un canal sinuoso. Aun cuando los ríos sean rectos, presenta un alineamiento sinuoso, discuriendo a través de barras alternas, los ríos de montaña generalmente son rectos y su perfil presenta una configuración de saltos y pozos, e incluso en las partes altas de la cuenca se pueden presentar cascadas; los cauces rectos se consideran en un estado de transición hacia cauces meándricos.

6.6.2 Trenzados: Si el cauce no está confinado y hay mucho transporte de sedimentos, más de un canal se puede crear convirtiéndose el río en trenzado. Estos cauces presentan múltiples canales de flujo separados por barras transversales (por esta razón no es posible asignar una sinuosidad); el cauce está conformado por material no cohesivo (gravas). La pendiente es generalmente alta, la sección transversal es ancha y la profundidad baja. Debido a la fluctuación de la velocidad en flujo turbulento con profundidades bajas, ocurre la depositación del material grueso en barras centrales y laterales que dirigen el flujo hacia las bancas causando su

inestabilidad. Una causa del trenzamiento es la gran cantidad de carga de lecho que la corriente no es capaz de transportar, siendo la cantidad de material más importante que su tamaño. Si el cauce está sobrecargado de sedimentos, el lecho se agrada al haber sedimentación y la pendiente aumenta en un esfuerzo para obtener condición de equilibrio.

Al volverse más pendiente, la velocidad aumenta y se desarrollan múltiples cauces ocupando un ancho mayor. Otra causa de trenzamiento es la presencia de bancas fácilmente erosionables que tienden a ampliarse para flujos altos y después formar barras e islas. Estos cauces presentan dificultades para la construcción de estructuras por ser muy anchos, poco profundos, tener estratos aluviales de gran espesor, son inestables, transportan grandes cantidades de sedimentos, y en general, son impredecibles.

6.6.3 Serpenteantes o meándricos: La característica principal de un río serpenteante es la presencia de una serie de curvas de sentido contrario conectadas por tramos rectos, que forman pozos en la parte externa de la curva y zonas de cruce localizadas entre éstas. El cauce está conformado por un único canal de flujo con una sinuosidad superior a 1.5, las pendientes del canal son más bajas que en los ríos trenzados y la carga de sedimentos está compuesta de material fino, principalmente arenas. Usualmente en los ríos serpenteantes el valle es muy amplio.

En cauces meándricos, se mueve transversalmente y origina la formación de curvaturas en forma de S, las que en general, se deben a procesos de erosión y de sedimentación. Al dirigirse la corriente hacia una banca, ésta sufre erosión, la corriente es deflectada y se va a atacar la banca opuesta en un sitio aguas abajo. La fuerza centrífuga en la curvatura causa una pendiente transversal en la superficie del agua, formándose muchas veces flujo helicoidal que remueve partículas de la parte externa de la curva y las transporta al lado opuesto en donde se depositan. Las velocidades son más bajas en la parte interna de las curvas dando lugar a sedimentación o formación de barras.

Los procesos de erosión de bancas en la curva exterior y depositación en la curva interior hacen que el canal divague en su llanura de inundación (Richard 2007)

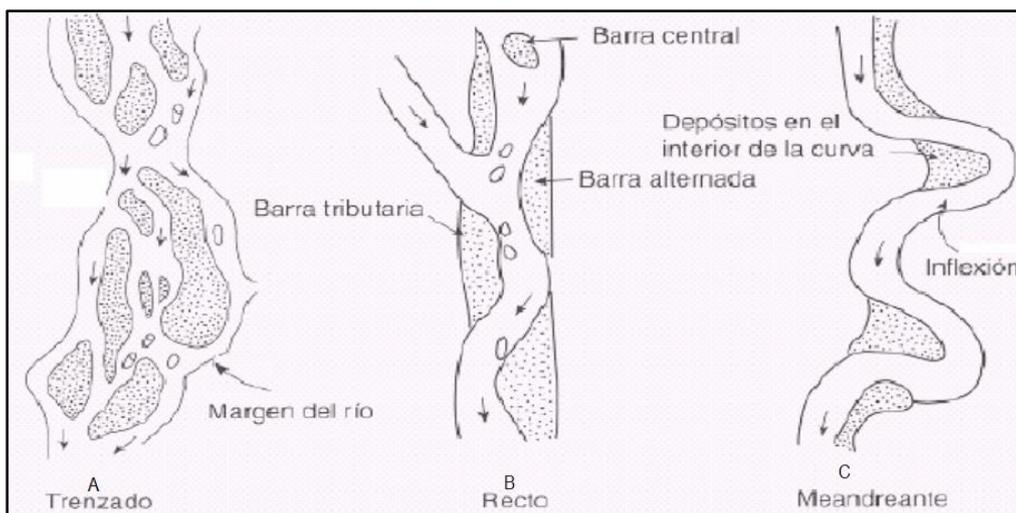


Figura 3: Tipos de ríos de acuerdo a su geometría. A) Trenzados B) Rectos C) Meandros. Extraído de Hernández et al, (2010)

6.7 Ríos Meándricos

El meandro consiste de un par de curvas opuestas. En las corrientes naturales las curvas son de diversa forma, inicialmente se percibe como un arco casi simétrico que puede desarrollarse en una variedad de formas simétricas, no simétricas o de sección compuesta. La curva de un río puede aproximarse a uno o más arcos de círculo, ya sean tangentes uno a otro o conectados por líneas rectas.

La curvatura mínima para que un arco se considere como un meandro individual, un arco simple se hace asimétrico cuando en su perímetro crece un segundo arco de curvatura constante. De acuerdo con este concepto, no es necesario de dos curvas consecutivas sean opuestas, se pueden desarrollar curvas hacia el mismo lado (Ver figura: 4). A diferencia del desarrollo de varios canales en los sistemas de ríos trenzados, los sistemas de ríos meándricos tienden a ser confinados a un canal principal que presenta una sinuosidad mayor a 1.5. En estos sistemas el gradiente de la pendiente es mucho menor, y los sedimentos involucrados en la carga de las corrientes son más finos. Otras de las características de los sistemas de ríos meándricos es que, por un lado, aunque algunos ocurren como sistemas independientes, otros pueden representar un cambio gradual corriente abajo de un sistema de ríos trenzados; y por otro, comúnmente los grandes sistemas de ríos meándricos desarrollan en su desembocadura sistemas deltáicos de depósito.

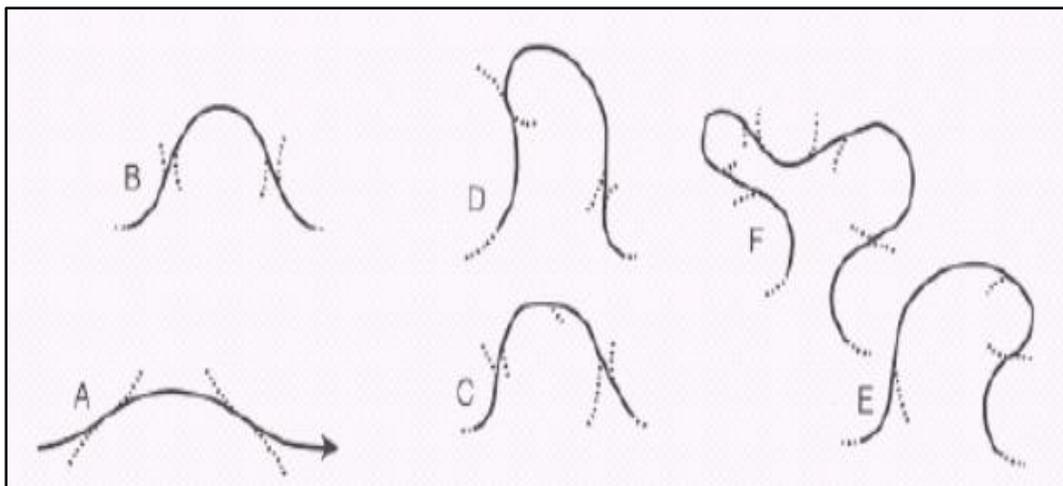


Figura 4: Tipos de curvas que desarrolla un meandro. (A, B) Simétrico Simple; (C, D) Asimétrico Simple; (E, F) Asimétrico compuesto. Extraído de Hernández et al, (2010)

6.7.1 Geometría de meandros.

Por lo general el río se divide en meandros individuales considerados a partir del punto de inflexión sus características.

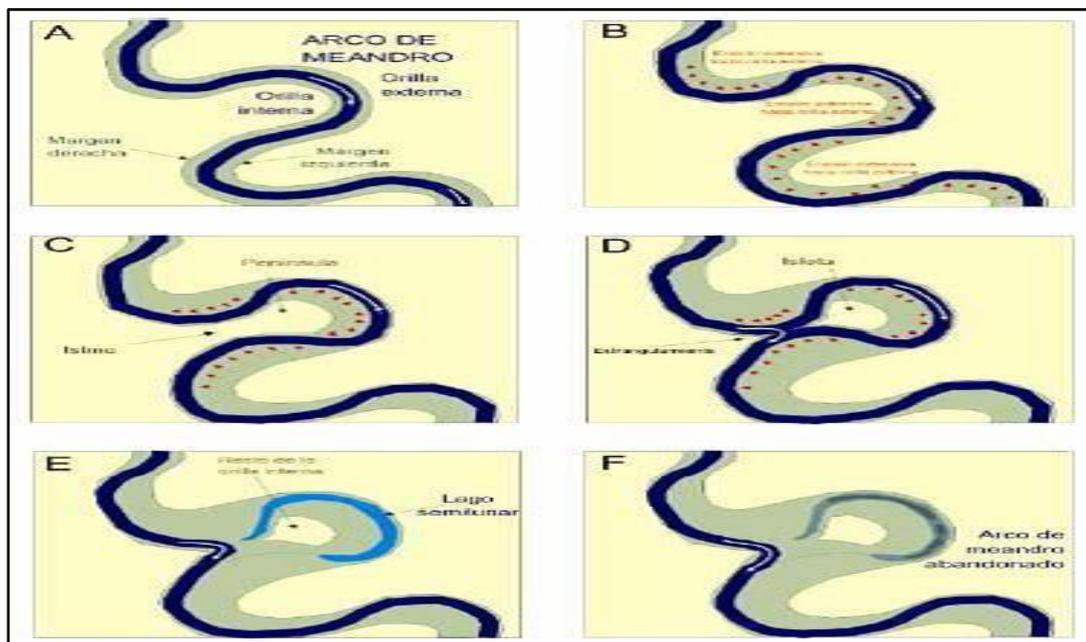


Figura 5: Esquema evolutivo de un meandro. A) Se observa el arco o la sinuosidad presentada por el meandro, siguiendo su curso, en el B) y C) va erosionando y depositando los sedimentos. D) la dirección del flujo entre un brazo y otro del meandro se encuentran, cambiando su curso, y formándose en el E) un tipo de arco o lago semilunar y en F) se forman los meandros abandonados.

La sinuosidad es la relación entre la longitud del río y la longitud del valle, en condiciones de equilibrio también se puede definir como la relación de la pendiente del valle y la pendiente del río. Los ríos con meandro tienen una sinuosidad mayor que 1.5. En general los meandros son de diferentes formas y tamaños. Para determinar las relaciones del tamaño de meandro con la frecuencia de ocurrencias, generalmente se hacen juicios subjetivos para considerar si una curva es o no meandro

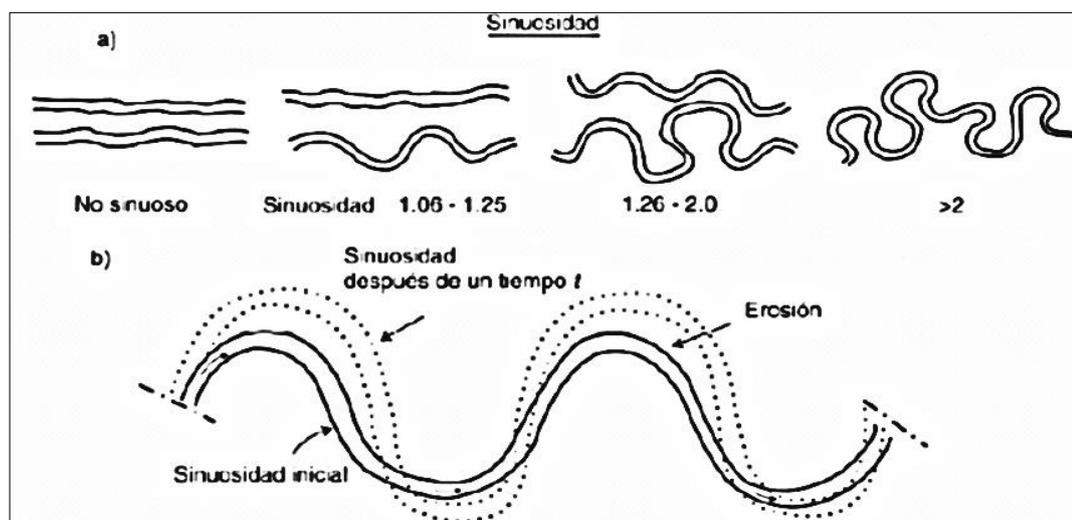


Figura 6: Tipos de Sinuosidad. a) Se observan diferentes grados de sinuosidad en un cauce fluvial y en b) después de un tiempo determinado se aprecian los cambios de sinuosidad. Extraído de Hernández, (2010).

6.7.2 Clasificación de ríos meandricos

6.7.2.1 Por sus propiedades geométricas

Las propiedades de su desarrollo en planta están relacionadas con la geometría, la sinuosidad del meandro, con variabilidad del ancho, el desarrollo de las curvas y la formación de depósitos sedimentarios.

6.7.2.1.1 Sinuoso en forma de canal: se caracteriza por un cauce angosto con curvaturas pronunciadas, un ancho uniforme, no se muestra trezados y puede ser de sinuosidad moderada

6.7.2.1.2 Sinuoso con barras prominentes: Los ríos tienden a incrementar su ancho y en las curvas se forman bordos prominentes.

6.7.2.1.3 Trenzado: La resistencia de las márgenes decrece, el grado de trenzado se incrementa, el río cambia de sinuoso a trenzado.

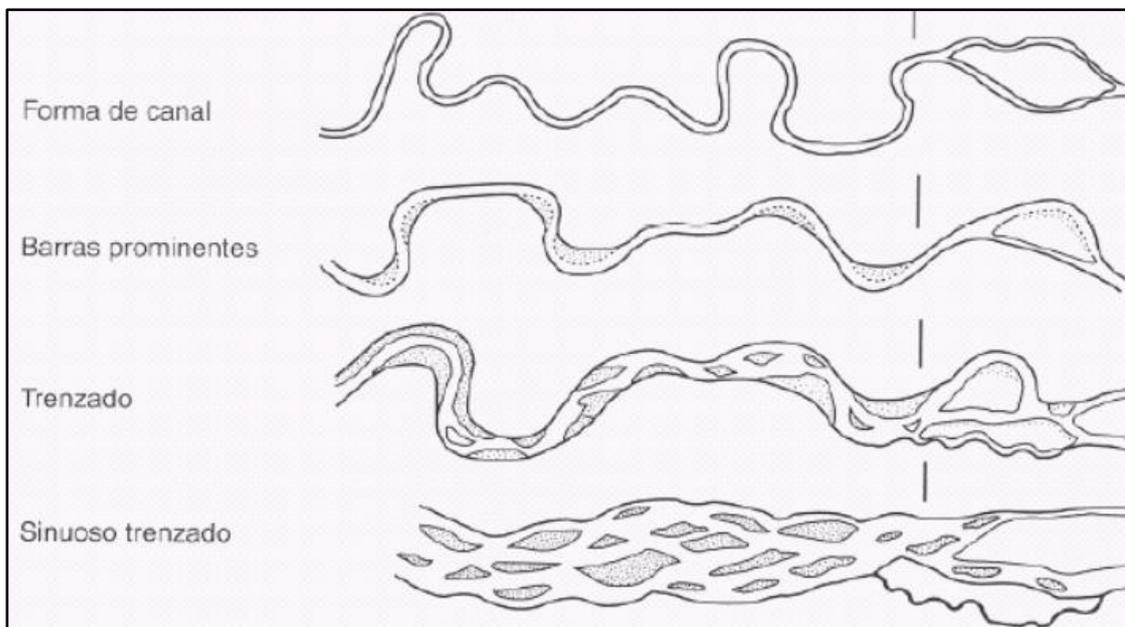


Figura 7: Desarrollo en planta de un meandro. Extraído de Hernández et al, (2010)

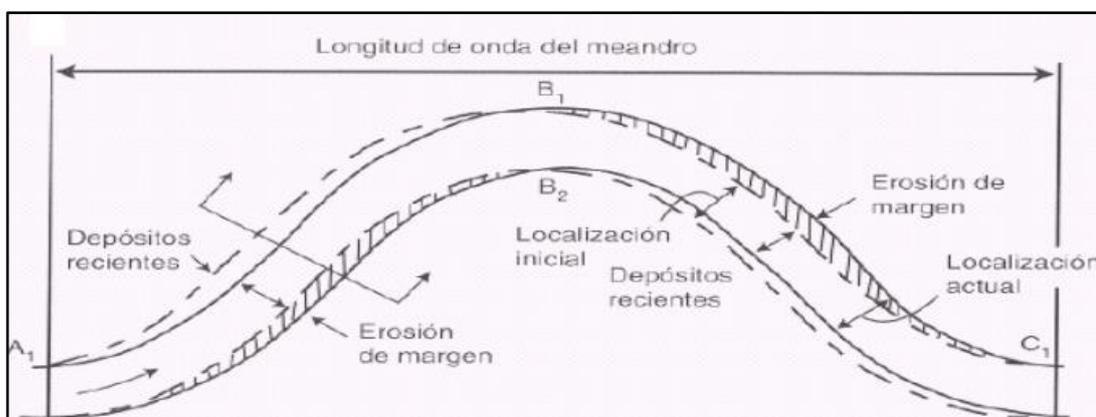


Figura 8: Representación esquemática en planta de un corte meándrico. Extraído de Hernández et al, (2010).

6.7.2.2 Corte de meandros o estrangulamiento: La forma de las márgenes de un río cambia continuamente mientras el río migra. En su mayoría, los cortes de los meandros ocurren cuando una de las curvas se cierra como consecuencia de la constante expansión y traslación de los meandros.

El corte de meandro ocurre generalmente durante una avenida y depende de varios parámetros como son el radio de curvatura del río, la rugosidad, vegetación, capacidad de erosión de la planicie de inundación, la geometría del tramo del río la magnitud y la duración de las avenidas.

6.7.2.3 Cambios de posición del cauce

6.7.2.3.1 Por migración lateral y longitudinal de los meandros

6.7.2.3.2 Por estrangulamiento de meandros muy desarrollados

6.7.2.3.3 Por acortamiento de los meandros

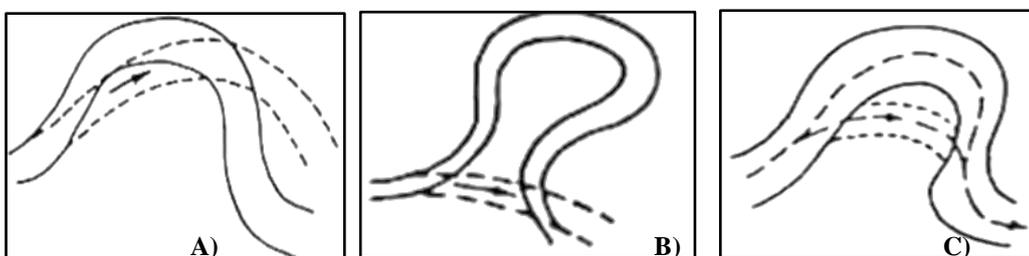


Figura 9: Movilidad del cauce. A) Migración lateral y longitudinal del meandro B) Estrangulamiento de meandro C) Acortamiento de meandro.

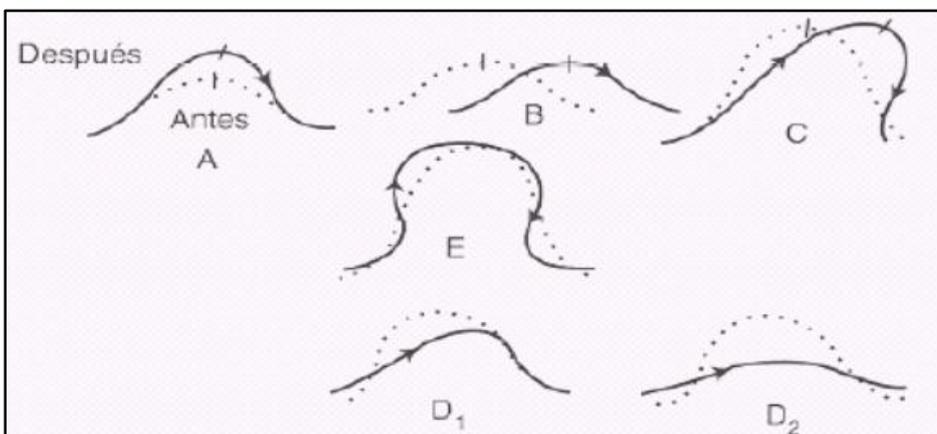


Figura 10: Forma de desarrollo y migración de meandros. A) Extensión B) Traslación C) Rotación D₁) Estrangulamiento diagonal D₂) Estrangulamiento recto E) Meandro de sección compuesta. Extraído de Hernández et al, (2010).

6.7.3 Procesos de depósito

Los principales elementos morfológicos de que consiste un sistema de ríos meándricos son: el canal principal, las barras de punto, los bordos naturales, las

planicies de inundación, los lagos laterales, y las áreas de desborde. Ya que en estos sistemas los sedimentos se acumulan debido a la acción del canal principal y de la inundación periódica de la planicie adyacente, los depósitos están asociados a estos elementos morfológicos:

6.7.3.1 Depósitos de canal: Son depósitos compuestos generalmente de material grueso que los ríos pueden mover o transportar durante los períodos de máxima competencia de las corrientes. Este material incluye gravas, troncos u otro material vegetal de grandes dimensiones, y lodo parcialmente consolidado que ha sido erosionado de las paredes del canal. Tienden a ser depósitos de forma lenticular, en donde lo más característico es la imbricación de clastos que presentan.

6.7.3.2 Depósitos de Barras de Punto: Estos depósitos se generan en las partes interiores de las curvas del canal a partir de un flujo en espiral que se crea en dicho punto. Debido a este flujo, los granos más gruesos tienden a ser depositados en las partes basales de la barra, y los sedimentos finos en la parte superior, dando como resultado una secuencia de disminución de tamaño de grano hacia arriba de barra de punto.

6.7.3.3 Depósitos de Bordo: Estos depósitos se desarrollan en la porción cóncava de la curva que delimitan los meandros. Son de mayor espesor y de grano más grueso cerca de los canales, y se hacen más finos a medida que avanzamos hacia la planicie de inundación. Arenas finas con estratificación horizontal y rizaduras de corriente, sobre yacidas por lodos laminados, son muy comunes en los depósitos de muro.

6.7.3.4 Depósitos de Planicies de Inundación: Están constituidos por sedimentos finos depositados por suspensión a partir de las aguas que inundan la planicie adyacente al canal. Estos depósitos tienden a desarrollar poco espesor, y comúnmente éstos contienen grandes cantidades de material vegetal; así mismo, presentan una bioturbación moderada.

6.7.3.5 Depósitos de desborde: Estos depósitos se generan cuando las aguas de la corriente principal logra romper los muros que la confinan. La sedimentación por tracción y suspensión ocurre rápidamente cuando el agua cargada,

tanto con material grueso como fino, pierde su competencia en el transporte, dando como resultado depósitos gradados.

6.7.3.6 Depósitos de lago lateral: Consisten de sedimentos finos, arcillas y lodo, que han sido introducidos a los lagos laterales durante las épocas de inundaciones. Son comúnmente laminados, y pueden llegar a presentar restos de plantas, así como ostrácodos y moluscos de agua dulce.

6.7.4 Características de los sedimentos

La sedimentación dentro de los sistemas de ríos meándricos se lleva cabo casi simultáneamente en todos los sitios mencionados con anterioridad, ya sea sobre el canal o sobre la planicie de inundación. Cuando el canal del río migra por su acción erosiva, los diferentes ambientes del sistema migran también lateralmente y los sedimentos depositados en ambientes continuos llegan a sobreponerse. Así, como resultado de la acción meándrica, los depósitos gruesos de los canales tienden a ser sobreyacidos por las secuencias arenosas de disminución de tamaño de grano hacia arriba de los depósitos de barras de punto, los cuales a su vez, son también sobreyacidos por los sedimentos de lodos y arcillas de los depósitos de planicie de inundación. A partir de este punto se da el modelo típico para un sistema de ríos meándricos.

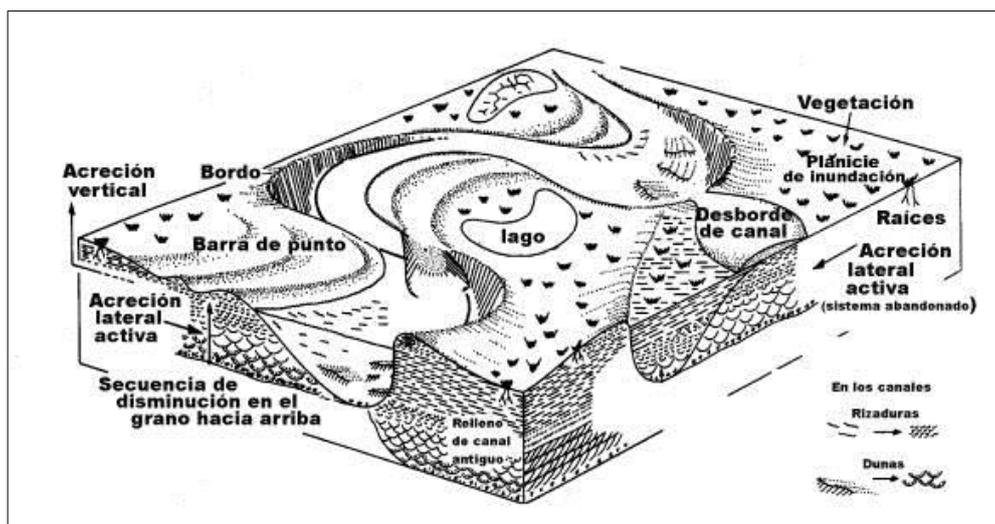


Figura 11: Características morfológicas de un sistema fluvial meándrico, mostrando los sitios principales de depósito y los productos generados

6.8 El Satélite Landsat

A finales de la década de los 60 se comenzó la planificación del primer satélite dedicado específicamente a percepción remota multiespectral diseñado y construido por NASA, el ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), fue lanzado el 23 de julio de 1972. Más tarde su nombre cambió a LANDSAT.

Con el lanzamiento del satélite LANDSAT-1 se abrió una nueva percepción del planeta con una resolución tanto temporal como espectral desconocida hasta entonces. Este satélite, dotado de sensores empleados en teledetección, fue diseñado con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. En base a este objetivo se diseñaron las resoluciones para adaptarse a este fin. La serie de satélites Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, desde el año 1972 dan una de las mejores series históricas de la evolución del planeta. Este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitorización medioambiental.

6.8.1 Combinaciones de bandas

El análisis visual de imágenes se realiza empleando tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores, empleados en informática, monitores RGB. Los monitores poseen un total de tres cañones, RGB, red, green, blue (rojo/verde/azul), por combinación de estos tres colores básicos, se construyen el resto de los colores. Empleando estos tres tenemos la posibilidad de enviar en cada uno de ellos una de las bandas del sensor, combinándose en nuestra pantalla dando distintos colores y tonos. Estos colores y tonos se emplean para analizar visualmente la imagen, combinando las bandas, de manera que se da un primer acercamiento al contenido de la imagen. Las combinaciones de colores se emplean para discriminar Geología de la imagen, Usos del suelo de la imagen, Morfología Urbana, etc. Algunas de las combinaciones de bandas de un sensor que pueden obtenerse se dan de la siguiente manera:

- Color natural 4 3 2
- Color infrarrojo (vegetación) 5 4 3
- Agricultura 6 5 2
- Análisis de vegetación 6 5 4
- Tierra/agua 5 6 4
- Geología 7 5 2

7. UBICACIÓN

El área de estudio se ubica en el sur de la Región Oriental del Paraguay, abarca un segmento del Rio Tebicuary, el tramo tiene una longitud de aproximadamente 20 km situada entre la localidad denominada Manga Ita hasta su confluencia con el arroyo San Juan, en dirección oeste de la ciudad de Villa Florida, Departamento Misiones. La principal vía de acceso se da por la Ruta N° 1 Mariscal Francisco Solano López, distante unos 160 km de la ciudad de Asunción.

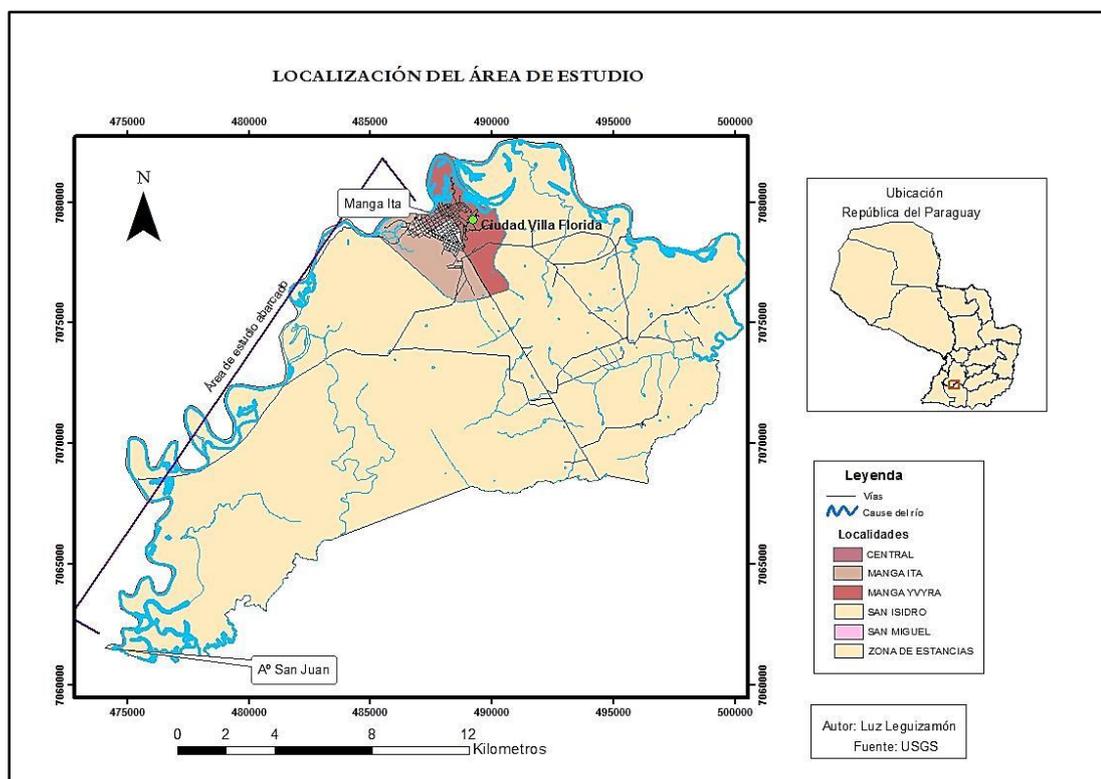


Figura 12: Mapa: Localización del área de estudio.

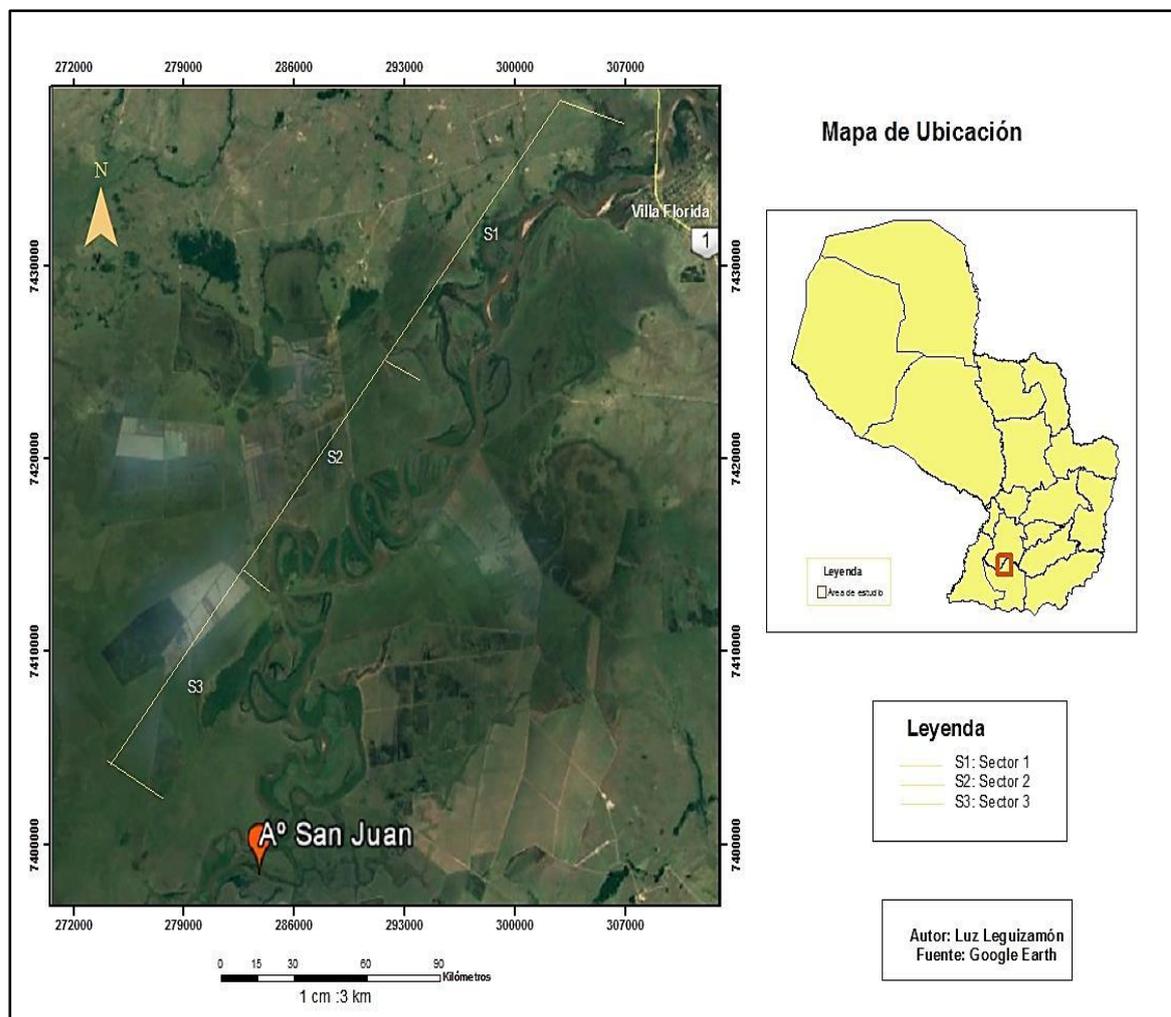


Figura 13: Vista general del área de estudio. Río Tebicuary desde la Ciudad Villa Florida, hasta el A° San Juan. Departamento Misiones. Extraído de Google Earth.

8. REVISIÓN DE LA LITERATURA

8.1 Geología del área de estudio.

En el área de estudio afloran las rocas más antiguas del Paraguay Oriental, en dos regiones separadas entre sí, una al Norte y otra al Sur (Harrington 1950). Según el autor en la Región Sur los afloramientos de rocas metamórficas se observan mejor a lo largo del curso Río Tebicuary entre Villa Florida y Paso Pindó, mencionando la litología del mismo como gneises foliados y micacitas con delgadas intercalaciones de cuarcitas cloríticas, de esquistosidad vertical con rumbo NW y SW. Los afloramientos de Villa Florida, se encuentran cortados en parte por el Río Tebicuary y las rocas metamórficas se encuentran inyectadas por vetas aplíticas, discordantes que llegan a cortar la esquistosidad, mostrando las vetas un débil metamorfismo ello evidenciado por el adelgazamiento y espesor de origen tectónico.

Kanzler (1987) realizó una investigación sobre el Precámbrico Sur, cuyo trabajo consistió en la realización de un mapa geológico con resultados de dataciones. Según su investigación, la extensión del complejo cristalino sería de unos 3000 km² en el Sur del Paraguay Oriental. Alrededor del Río Tebicuary se encuentra una zona de fractura donde se encuentran diversos tipos de rocas: rocas ígneas, metamórficas, metasedimentarias y también de tectonitas, estas rocas están instruidos por diques básicos de dirección NW. En la parte Sur que se extiende desde Villa Florida hasta San Juan Bautista cuyo terreno es metamórfico, afloran paragneis, ortogneis, anfibolitas, cuarcitas meta aplitas, lentes de talco y también diques más jóvenes.

Otro autor como Fulfaro, (1996) consideró dos altos de basamentos cristalinos Precámbricos; Caapucú al Sur y el Alto Apa al Norte, los cuales se encuentran divididos por un gran bloque fallado, un alaucógeno, denominado el Bajo

de San Pedro. El Alto Caapucú desde Quiindy hasta San Juan Bautista, también denominado Saliente de Pilar o Precámbrico Sur. Se encuentran rocas del tipo orto y paragneis, migmatitas, anfibolitas, talco, esquistos y diques agrupados en el Complejo Rio Tebicuary. Donde el autor supone correspondería al Proterozoico inferior o más antiguo. En la zona central o más al centro se encuentran el Grupo Villa Florida que es de origen magmático y metamórfico; granitos, riolitas, granodioritas, cuarcitas, gneis, anfibolitas, mármoles y serpentinitas en pequeñas porciones, el Grupo Paso Pindó conglomerados interdigitados, areniscas y siltitas todas con un ligero metamorfismo.

En la descripción del Texto Explicativo, Meinhold et al, (2011); menciona que las rocas más antiguas afloran en el SE. Se tratan de gneises de composición acida, cuarzo-feldespáticos, de la Suite Metamórfica Villa Florida, los cuales contienen intercalaciones de cuarcita, esquistos cuarcíticos, cuarcita ferruginosa, mármol, rocas calcosilicatadas, anfibolita, esquistos de talco y serpentinita harzburgita. Altamente metamorfizadas facies anfibolita y facies granulita e intensamente plegadas. El alto grado de metamorfismo se evidencia a través del contenido de granate, cianita y también sillimanita en los gneises y cuarcitas, típico de los gneises, es el cuarzo aplanado. El rumbo de los planos axiales de la esquistosidad primaria es generalmente SW-NE, con un buzamiento predominante hacia el NW. Dataciones radiométricas de las rocas de la Suite Metamórfica de Villa Florida fueron llevadas a cabo por Lohse (1990) y Engler (1991). Dataciones de K-Ar únicamente revelaron edades rejuvenecidas de enfriamiento del Ciclo Brasileño Superior 600 - 500 m.a. Sin embargo, las dataciones de circones pertenecientes a una anfibolita de Ita Yuru al Sur de Villa Florida, confirmó las edades de entre 2000 y 2200 m.a., edades modelos de gneises de todo el complejo, reveladas a través del método U-Pb, se ubica entre 1800 y 2200m.a. y corresponden al Ciclo Transamazónico.

El complejo precámbrico Sur presenta las siguientes unidades: Complejo de Rio Tebicuary, Proterozoico Inferior, Suite Metamórfica Villa Florida con el complejo magmático de Centu Cue, perteneciente al Ciclo Transamazónico. Serie metasedimentaria del Grupo Paso pindo, Proterozoico Superior 600 m.a., plegada y

metamorfizada durante la fase principal del Ciclo Basiliano alrededor de 600- 580 m.a. Suite Magmatica Caapucu, Ecocambrico hasta Cambrico 531 m.a.; fase post-tectonica del ciclo Basiliano. Meinhold et al, (2011).

8.2 Hidrología

Según estudios realizados por la SEAM, en su proyecto PMSAS (Proyecto de Modernización del Sector Agua potable y Saneamiento) expresan que la cuenca del Río Tebicuary posee una superficie de 27.324 km² (6.5% del país y 16.5% de la Región Oriental), con varias subcuencas con características fisiográficas distintas y uso de agua intensivo, la longitud de su curso principal es de 500 km y desemboca en Río Paraguay en el km 147, unos 40 km aguas arriba del Puerto de Pilar.

La cuenca del Río Tebicuary es la más grande de la Región Oriental, se encuentra entre los departamentos de Paraguari, Itapúa, Caaguazú, Guairá, Caazapá, Ñeembucú, Misiones y Cordillera, (figura 14). En esta cuenca se consideran las subcuencas como el río Tebicuary-mi de 7300 km², rio Pirapó 4010 km², arroyo Mbuyapey 1556 km², arroyo Yaguary 581 km², y el rio Tebicuary cuenca alta, media y baja 14000 km².

Los afluentes más importantes en su margen derecha son el Río Tebicuary-mi, Río Pirapó, Río Negro, Arroyo Cabacúa y Arroyo Mbuyapey, mientras que en su margen izquierda está alimentado por el Arroyo Aguaray, Arroyo San Roque, Arroyo Gueyracay, Arroyo Tajy, entre otros. La cuenca es muy extensa y tiene dirección E-W, a fines descriptivos se la divide en cuenca alta, cuenca media y cuenca baja.

La cuenca alta forman los tres cauces principales que se originan en la Cordillera del Ybytyruzu, es una zona de recarga y descarga del acuífero Guaraní, que actualmente está siendo deforestada para monocultivo de soja. La cuenca media se inicia en la intersección del Rio Tebicuary-mi con el Río Tebicuary hasta Villa Florida, se caracteriza por ser una planicie de rocas precámbricas, recubiertas en partes por sedimentos limo-arcillosos que constituyen importantes humedales y la

retención de agua es muy pobre. En dichas zonas se cultiva arroz que se riega por canales con toma de agua desde el Río Tebicuary.

La cuenca baja que va de Villa Florida hasta la desembocadura al Río Paraguay es rica en fauna íctica. Dentro de la cuenca y ríos de la misma se abastece de aguas a importantes ciudades del país como Villarrica, Coronel Oviedo y Villa Florida.

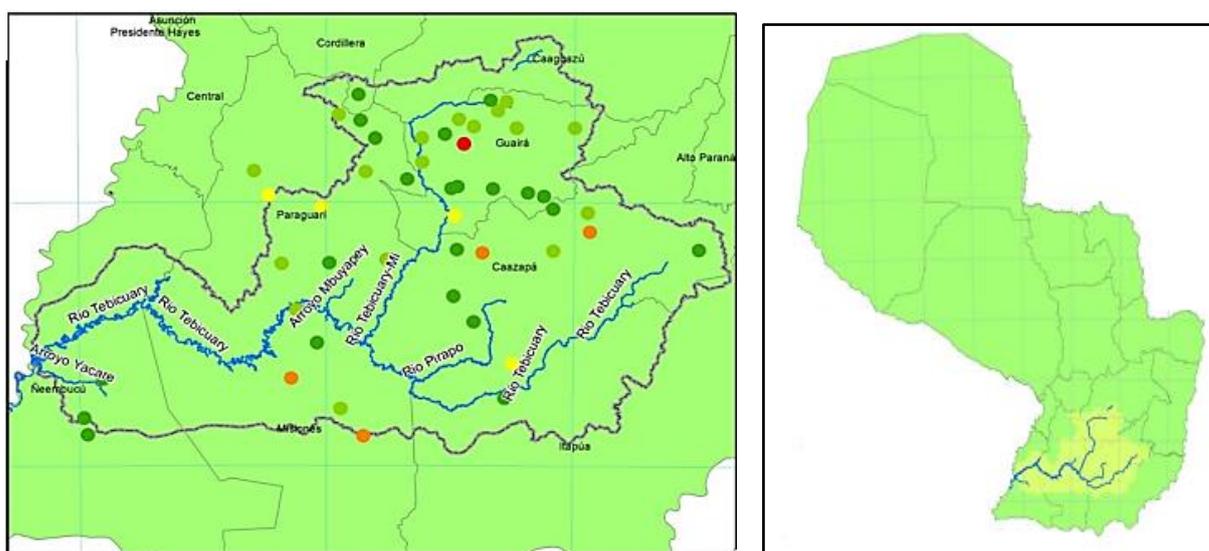


Figura 14: Ubicación geográfica de la cuenca Río Tebicuary. Extraído del Proyecto PMSAS 77/10-SEAM 2016.

8.3 Demografía

La población en la cuenca es de 140.000 habitantes aproximadamente, la sub-cuenca del Río Tebicuary-mi en el Departamento de Guairá 60.400 habitantes y la sub-cuenca del Río Capiibary en el Departamento de Caazapá con 25.479 habitantes en la parte alta de la cuenca representan el 62% de la población de la cuenca. La parte baja de la cuenca, Departamento de Ñeembucú con 1.018 habitantes representa el 7% de la población, y ocupa el 58% del área de la cuenca según DGEEC. Es por ello que constituye una de las cuencas más importantes, tanto en tamaño, como por la problemática que representa a nivel socio-ambiental.

8.4 Clima y vegetación

El clima regional es cálido subtropical, con corrientes cálidas y húmedas del norte y masa de aire frío y seco del sur. La temperatura media anual varía entre 21° y 23° C, con una máxima promedio en enero de 28°. La precipitación anual es muy variable y va desde los 1300mm hasta llegar a los 2200mm en la zona sureste de la cuenca. (Informe SEAM, 2016)

Los cerros de mayor altura están cubiertos por un estrato arbóreo denso. Las amplias zonas de planicie están cubiertas de pastizales naturales en su mayoría representado por gramíneas aptas para la producción ganadera. Los esteros también están poblados por especies representativos de un ecosistema acuático. (Cubas et al, 1998).

9. METODOLOGÍA

La metodología seguida se constituyó de la siguiente manera:

9.1 Trabajos de Gabinete:

Esta etapa consistió inicialmente en la compilación y análisis de informaciones bibliográficas, todo aquello que aludía respecto a la geomorfología fluvial en general, los tipos de sistemas y clasificación fluvial, e investigaciones hechas sobre el área de estudio.

Posteriormente se delimitó el área de estudio, para facilitar mejor su observación a través de las herramientas como Google Earth Pro, además del ArcMap 10.2.2, y se descargaron imágenes satelitales del área proveídas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), ya que estas tecnologías por su versatilidad aportan información precisa y rápida.

9.2 Procesamiento y Tratamiento de las Informaciones:

Una vez realizada todas las etapas preliminares, en ésta se analizaron las informaciones recogidas en gabinete, continuando con la siguiente fase del trabajo:

Las imágenes satelitales descargadas en principio se representó con ayuda del Sistema de Información Geográfica, combinando las bandas en el ArcMap 10.2.2 con la herramienta Arc Toolbox, Data Management Tools, Raster, Raster Processing, y Composite Bands para su mejor visualización e interpretación. Las imágenes del área de estudio obtenidas de Google Earth Pro, se georeferenció para luego ser exportados al ArcGIS permitiendo caracterizar las principales unidades geomorfológicas del sistema fluvial.

9.3 Interpretación de las Informaciones:

Una vez realizado el tratamiento previo de las informaciones, en esta fase final se clasificó el tipo de sistema fluvial a que corresponde la zona de estudio, a través de imágenes satelitales. Para una mejor interpretación se optó por dividir en sectores para la determinación de la característica y unidades geomorfológicas generada por la dinámica fluvial, con el desarrollo mapas temáticos para tal efecto.

10. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

10.1 Descripción Imagen Satelital

Existe una gran variedad de imágenes satelitales que brindan distinto tipo de información, una serie de ventajas entre las principales resalta, gracias a su posición elevada y a su amplio campo de observación, captan imágenes de manera completa de la Tierra permitiendo una visión más global convirtiéndose en una herramienta útil de información espacial en función de los propósitos específicos con los que fue construido cada satélite.

Combinando una serie determinada de bandas mediante la utilización de Sistema de Información Geográfica pueden resaltarse distintas propiedades del terreno. Las combinaciones de bandas RGB 752 aplicada en geología, y para la identificación de cuerpos de aguas fueron las utilizadas en el análisis visual de la imagen satelital de la Cuenca Baja del Río Tebicuary hasta su confluencia con el arroyo San Juan, (Figura 15) en la que se observa en una tonalidad azulada el curso fluvial, el depósito de sedimentos de color blanquecino, mientras que la vegetación en tonalidades verde claro, y en las variedades de tonalidad rosa el suelo utilizado para la agricultura mecanizada.

En plano la imagen del río por el grado de curvatura que ha desarrollado el mismo responde a un sistema fluvial del tipo meandro irregular, con sinuosidad en forma de canal y con barras prominentes de sedimentación.

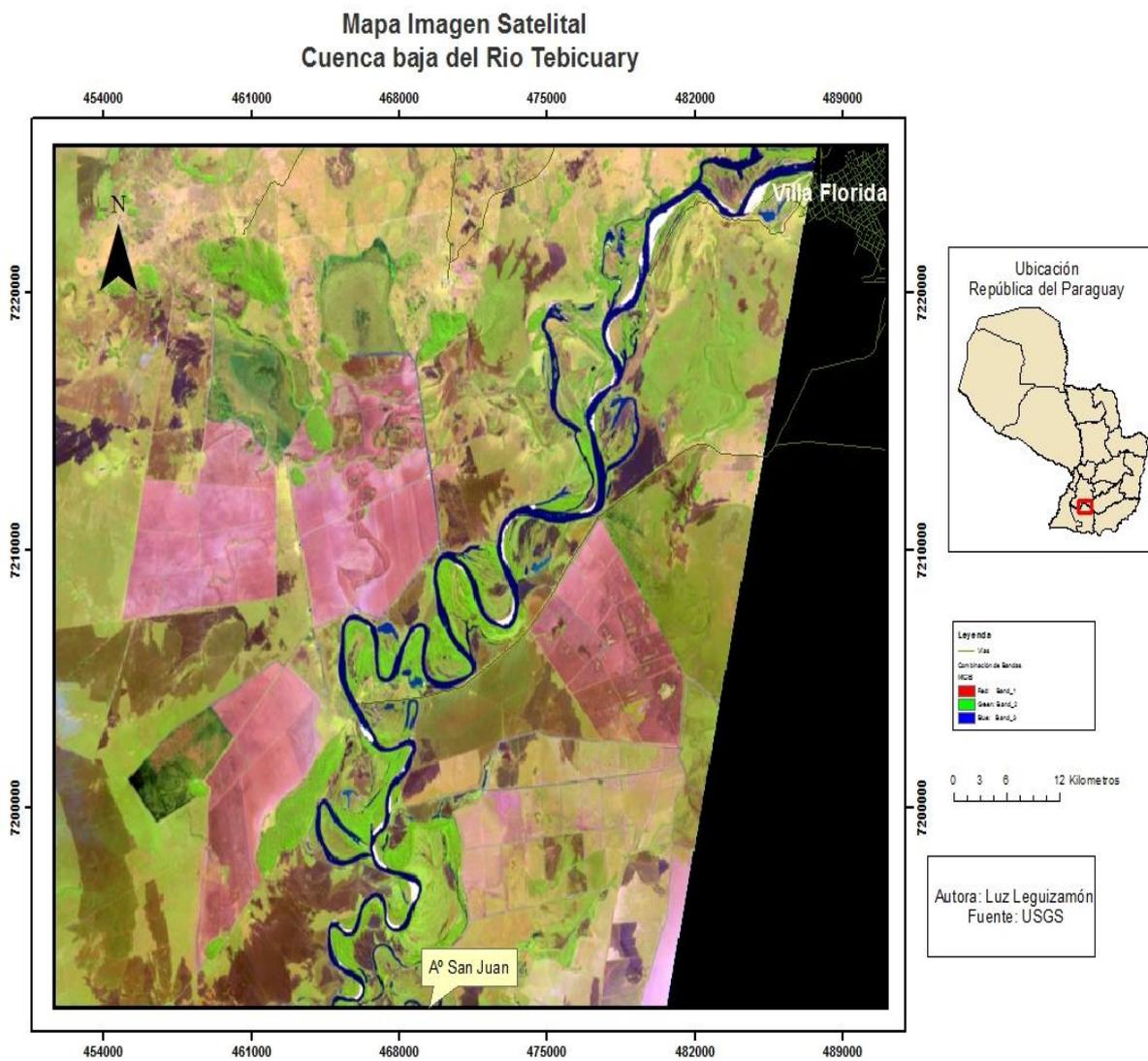


Figura 15: Imagen Satelital Cuenca Baja del Río Tebicuary.

10.2 Descripción Cuenca Baja Río Tebicuary Sector 1

Para una mejor caracterización de las unidades geomorfológicas la zona de estudio se ha dividido por sectores, resultando ventajosas las fotografías obtenidas con Google Earth, que al ser georreferenciadas se exportó al ArcMap 10.2.2 para su posterior procedimiento.

En el sector 1 (Figura 16), la característica de los canales fluviales en la curva del meandro, el agua tiende a desplazarse hacia el exterior del mismo, donde el efecto erosivo es mayor mientras que en la orilla interna del meandro el agua pierde velocidad y el río deposita una barra semilunar o *point bar* o barras de puntos en la parte interna del meandro. Se identifica además la presencia de meandros abandonados por cambio en la posición del cauce.

Son típicos los desbordes de canal a lo largo del río, estos brazos del canal al aumentar los niveles de precipitación tienden en ocasiones a desbordarse produciéndose avenidas.

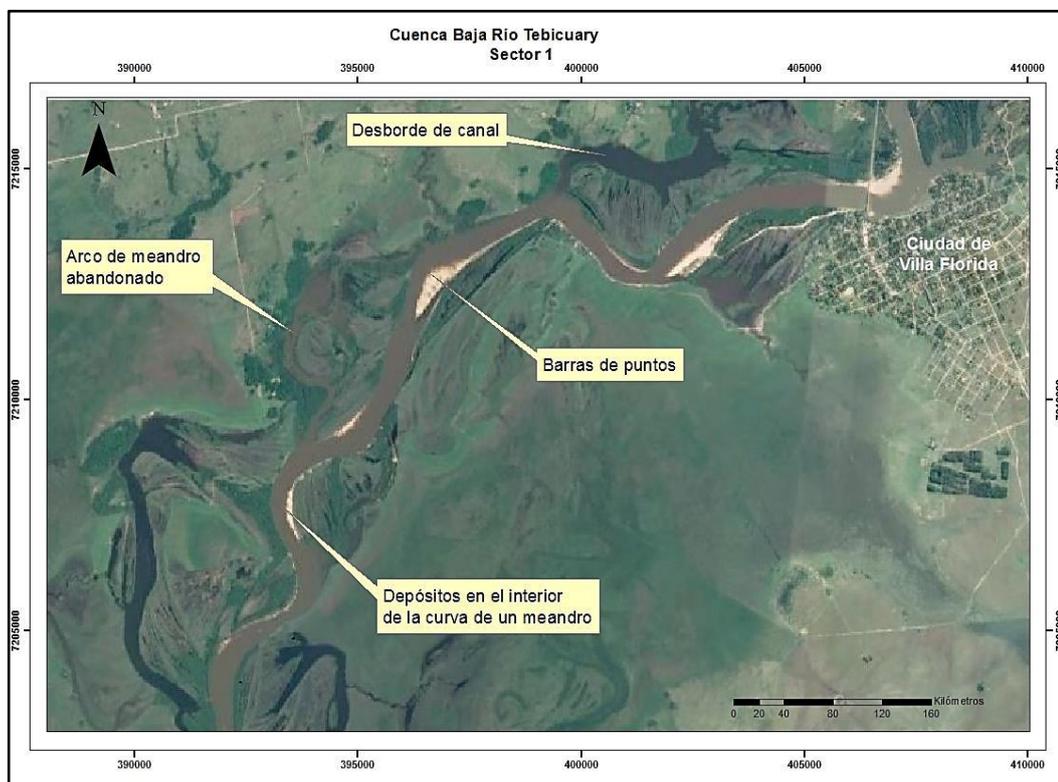


Figura 16: Identificación de unidades geomorfológicas de la Cuenca Baja Río Tebicuary Sector 1

10.2 Descripción Cuenca Baja Río Tebicuary Sector 2

Continuando con la identificación en el sector 2, un meandro, lo mismo que una sinuosidad tiende a exagerarse, al migrar el canal fluvial se va acortando el meandro formando en algunos casos brazos muertos y en otros los desbordes de canal determinándose ciertas curvas del tipo simétrico simple y meandro tortuoso.

Los meandros son los principales responsables de la construcción y evolución de la llanura aluvial en los tramos bajos fluviales; de hecho, los procesos de erosión sedimentación desarrollados en los arcos y sectores de inflexión de estos meandros controlan la forma del cauce, la dinámica morfológica y sedimentaria de la llanura de inundación, la concentración de la acción erosiva en determinados puntos a lo largo del meandro puede conducir a la formación de estrangulamiento del mismo que luego dará lugar a lagos de meandros abandonados como se observa en la figura 17.



Figura 17: Identificación de unidades geomorfológicas de la Cuenca Baja Río Tebicuary. Sector 2

10.3 Descripción Cuenca Baja Río Tebicuary Sector 3

La curva de los meandros se van acentuando más y más hasta que los recodos de intercomunican acortando el curso del río lo que forman estrangulamiento como se observa en la figura 18, con la posterior formación de los lagos y meandros abandonados. Los meandros abandonados son considerados como el episodio final del desarrollo por migración lateral de un arco de meandro. A sí mismo la curva descrita por el río en su segmento más bajo responden al tipo asimétrico compuesto y otra de simétrico simple.

En una serie de meandros, la corriente erosiona sucesivamente las orillas, describiendo sinuosidades mayores tendiendo a exagerarlas, ya que el punto de mayor velocidad es el de máxima erosión, así pues, el margen cóncavo se excava cada vez más, mientras que en el margen convexo, la corriente es demasiado lenta para su carga, con lo que forman estas barras de sedimentos en el meandro y construye una ribera aluvial. Debido a este proceso, el margen cóncavo es abrupto, mientras que el convexo, de colmatación, es bajo.

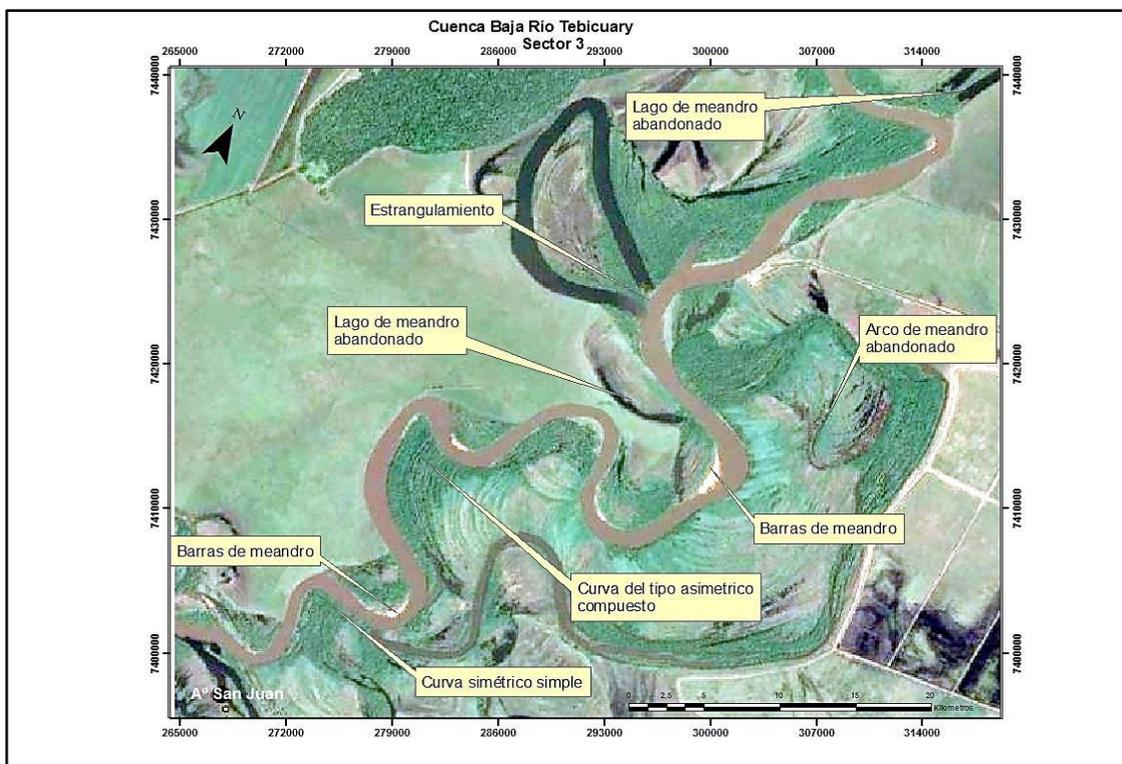


Figura 18: Identificación de unidades geomorfológicas de la Cuenca Baja Río Tebicuary. Sector 3

10.4 Descripción Mapa Sistema Fluvial Cuenca Baja Río Tebicuary

Este mapa del sistema fluvial, se realizó apoyado en el programa ArcMap 10.2.2 cuya herramienta permitió la delimitación de la zona de estudio enmarcada entre la localidad de Manga Itá hasta la confluencia con el A° San Juan, figura 18. En la misma se observa de color verde que indica las curvas de nivel donde el curso fluvial se encuentra entre los 60 a 70 m.s.n.m. En las tonalidades amarillo claro corresponden a los sedimentos cuaternarios inconsolidados de composición arenosa, puzolánica y arcillosa, constituyendo depósitos de canales, meandros abandonados y planicies de inundación acarreados por el río y depositados en las márgenes de las mismas, son de naturaleza clástica con tamaño que varían de grano grueso a medio y presentan a veces estratos plano-paralelos o cruzados. (Cubas et al, 1998). Como se podrá observar en el mapa muestra que a lo largo del curso fluvial del Río Tebicuary la cuenca baja responde debido a la elevada sinuosidad a la formación de meandros como trazados de adaptación a la estructura.

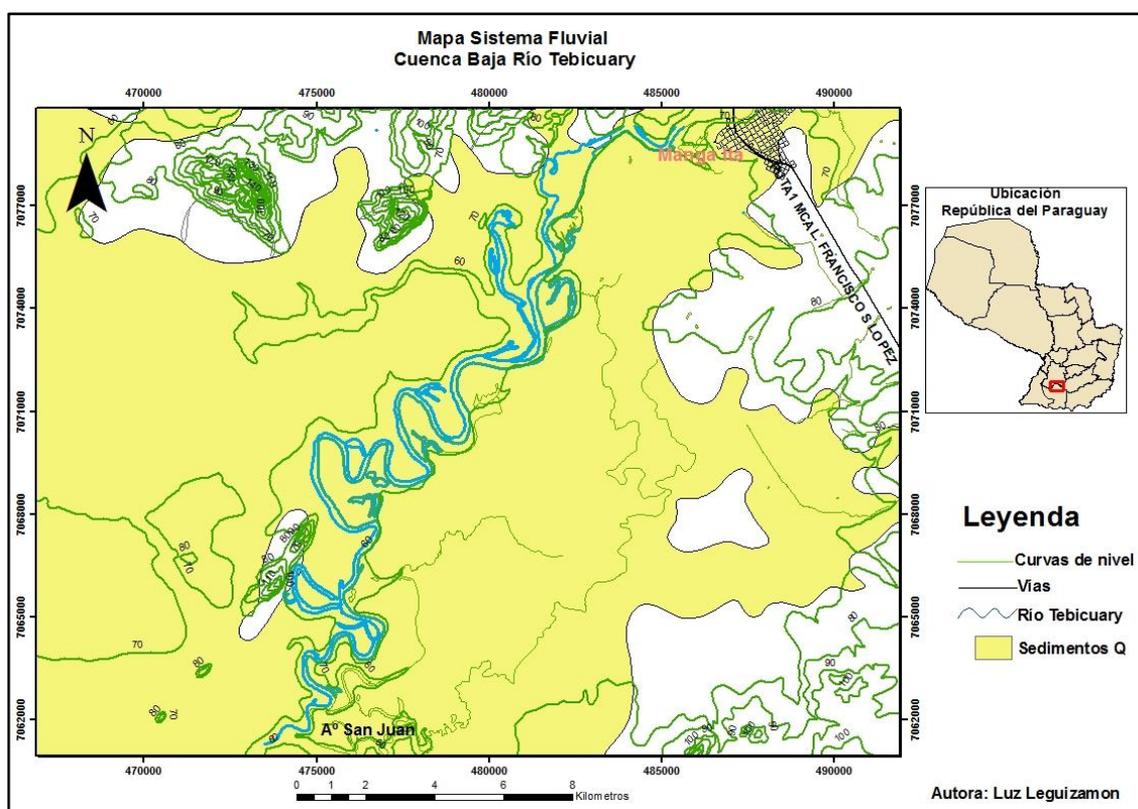


Figura 19: Mapa Sistema Fluvial Cuenca Baja Río Tebicuary.

11. CONCLUSIÓN

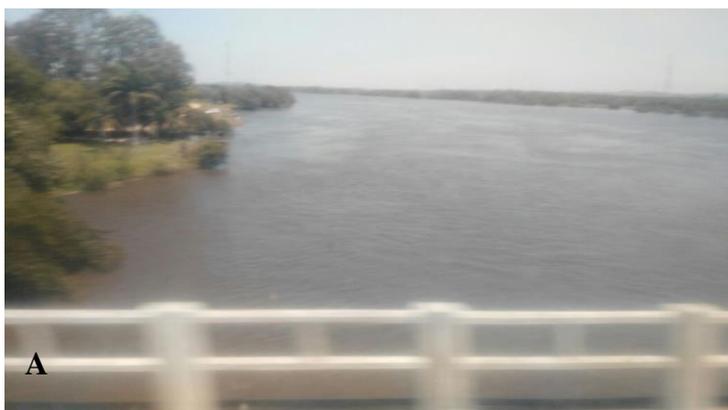
El levantamiento geomorfológico fluvial es una herramienta valiosa que proporciona una información precisa y concreta sobre los procesos geomorfológicos, formas resultantes y fenómenos naturales relacionados.

El tramo estudiado se enmarca entre la localidad de Manga Ita hasta la confluencia con el Arroyo San Juan al oeste de la Ciudad de Villa Florida, Departamento Misiones, una vez delimitada la zona con la utilización de programas como el ArcMap, apoyados en imágenes satelitales e imágenes de Google Earth han hecho posible la caracterización de las unidades geomorfológicas del Río Tebicuary y su clasificación.

Debido a la sinuosidad elevada, y baja pendiente, el trazado del sistema fluvial desarrollado en la cuenca baja del río corresponde al tipo meandrónico, pero no todas las sinuosidades se exageran ya que existen secciones sin meandros en algunos sectores del mismo.

Las curvas desarrolladas por el meandro van desde simétrico simple hasta asimétrico compuesto. Los procesos diferenciados en los dos márgenes del cauce se mencionan como margen externo de los meandros predomina la erosión en tanto que en el margen interno se produce la sedimentación conformando las barras de meandro de granulometría que van desde fina a media. Además, la migración del meandro ha dado lugar a estrangulamientos, quedando como resultado lagos y meandros abandonados que después de una época de crecida se producen las avenidas, en estas llanuras aluviales. Con estos rasgos mencionados la característica del estado geomorfológico del Río Tebicuary en su cuenca baja, respondería a la etapa evolutiva de un río maduro e inclusive en la etapa de vejez.

12. ANEXO



Vista Panorámica en dirección Suroeste del Río Tebicuary tomada sobre el puente Villa Florida. Que une el departamento Paraguarí-Misiones.



Foto tomada a la izquierda del puente Villa Florida localidad Manga Ita. Se observa el ascenso del nivel de las aguas del Río Tebicuary, luego de las intensas precipitaciones.



Vista en dirección Oeste del Río Tebicuary en la localidad de Manga Ita –Ciudad Villa Florida.



Vista panorámica de los sedimentos de grano fino a medio acarreados por el río en el margen convexo, formando depósitos de barras de punta. Imagen D, E, F.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUBAS, N. GARCETE, A. MEINHOLD, K. D. 1998. Mapa Geológico de la República del Paraguay, Escala 1:100.000, Hoja Villa Florida – Texto Explicativo. Asunción.

DERRUAU, M. 1981. Geomorfología. Segunda Edición. Barcelona. Pág. 517

DÍAZ, E. 2005. Tesis. Metodología para la clasificación geomorfológica de los cursos fluviales de la Cuenca del Ebro. Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad Zaragoza- España.

ELORZA, M. 2008. Geomorfología. Ed. Pearson Prentice Hall. Madrid-España. Pág. 275-299

ELOSEGI, A, *et al.* 2009. Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial. La estructura física de los cauces fluviales. Primera Edición. Fundación BBVA.

FERRERO, V. 2004. Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno. Teoría, Práctica y Filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico. Pág. 391

FULFARO, V. 1996. Geología del Paraguay Oriental. Sao Paulo. Pág. 14

GALLEGO, O. *et al.* 2014. Cambios en la geometría de los meandros de la cuenca media del río Arias por efecto de la construcción del embalse Gral. Belgrano. Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Nº 6. Sección 1.

GONZÁLEZ, E. 2006. Mapas Geomorfológicos. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Pág. 26

- GOUDIE, A. 2004. Encyclopedia of Geomorphology. Volume 1. Ed. Routledge. Taylor and Francis Group. New York. Pág. 1202
- GOUDIE, A. *et al.* 1990. Geomorphological Techniques. Second Edition. Ed. Routledge. Taylor and Francis Group. London and New York. Pág. 709.
- HARRINGTON, H. J. 1950. Geología del Paraguay Oriental. Univ. Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Pág 89.
- HERNÁNDEZ, A, *et al.* 2010. Tesis de titulación. Hidráulica de Ríos. Morfología, Técnicas de Medición y Muestreo en Ríos. Instituto Politécnico Nacional. Colombia.
- HUGGETT, R. 2007. Fundamentals of geomorphology. Ed Routledge. London and New York. Pág. 483.
- KANZLER, A. 1987. The Southern Precambrian in Paraguay-Geological inventory and age relations. – Zbl. Geol. Palaont. Teil I 7/8: 753-765. Stuttgart.
- MEINHOLD, K., CUBAS, N., GARCETE, A. 2011. Mapa Geológico 1:250.000 del Complejo Precámbrico Sur del Paraguay – Texto explicativo. Geologisches Jahrbuch. Regionale Geologie Ausland. Reihe B, Heft 100. Hannover.
- MONTORIO, R, *et al.* 2015. Análisis espacial de la geometría de meandros abandonados recientes en la Vega Media del Segura (Murcia). Universidad de Zaragoza.
- PROYECTO PMSAS 77/07- SEAM. Informe Cuenca del Rio Tebicuary. Junio 2016
- QUESADA, A, *et al.* 2014. Cartografía geomorfológica para el inventario de procesos gravitacionales en la cuenca endorreica del arroyo La Ciénega, flanco oriental del volcán Nevado de Toluca. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 66, Nº. 2. Pág. 329-342.
- SILVA, T, *et al.* 2009. Tutorial de Cartografía Geomorfológica Arcgis 9.2 e envi 4.0. Manuales Técnicos. Revista Geográfica Académica. Instituto de Geografía. Pág. 66

STRAHLER, A. 1979. Geografía Física. Ed. Omega S.A. Barcelona-España. Pág. 280-297

TARBUCK Y LUTGENS. 1999. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física. Sexta edición. Ed. Pearson. Prentice Hall. Madrid. Pág. 213-235.

TUESTA, R, *et al.* 2011. ArcGis Básico. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú. Pág. 148

TOMLINSON, R. 2008. Pensando en el SIG, Planificación del Sistema de Información Geográfica Dirigida a Gerentes. Tercera Edición.

VIERS, G. 1983. Geomorfología y Elementos de Geografía. Tercera Edición. Ed. Oikos-Tau S.A. Barcelona- España. Pág. 93-105; 265-278.

GLOSARIO

ABRASIÓN: Acción de pulido de los materiales de la corteza terrestre, producido por los fragmentos en movimiento por el transporte ejercido por el agua, viento, o hielo.

AGRADACIÓN: Proceso geológico, mediante el cual se realiza la acumulación de sedimentos en las zonas de depresión.

ALVEO: Canal o lecho por donde discurren las aguas durante todo el año, correspondiente al lecho menor de un río.

CAUCE FLUVIAL: Dentro de su cuenca, cada río traza su propio cauce, que es el espacio por donde circula.

CICLO HIDROLÓGICO: Son las diferentes fases o etapas por las que pasa el agua en su desplazamiento por la superficie terrestre. Estas etapas son: Formación de las masas acuosas (océanos, mares, lagos, lagunas); evaporación y transpiración; formación, condensación y saturación de las nubes; precipitación pluvial; Formación de los ríos con su respectivo escurrimiento (aguas de escorrentía); infiltración y formación de las aguas subterráneas.

CUENCA HIDROLÓGICA: Red de drenaje superficial cuyas aguas desembocan a un canal principal.

DEFORMACIÓN: Modificación que sufre una roca o material por acción de uno o más esfuerzos. Existen dos tipos de deformación: elástica y plástica.

DELTA FLUVIAL: Acumulación aluvial (sedimentos) de forma triangular localizado en la desembocadura de un río.

DIACLASA: Fractura o juntura que aparece en el cuerpo de una roca ocasionalmente producida por los esfuerzos tectónicos, presentado direcciones definidas a las cuales se les denomina sistemas de diaclasas.

DRENAJE: Es el diseño o trazo efectuado por las aguas de escorrentía o fluviales que modelan el paisaje.

EROSIÓN FLUVIAL: Es el trabajo continuo que realizan las aguas corrientes sobre la superficie terrestre. La erosión fluvial se desarrolla siguiendo pautas específicos de drenaje, que son controlados por la estructura geológica, por la dureza de la roca, por la carga fluvial y otros factores.

FALLA: Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a éste o de ambos bloques, a través de un plano denominado "plano de falla". Producto de esfuerzos tectónicos, producto de la epirogenesis, orogenia, diastrofismo, tectónica de placas o cualquier otro tipo de desplazamiento de parte de la corteza. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas.

FRACTURA: Ruptura de los minerales sin seguir direcciones definidas.

GEOMORFOLOGÍA: Es la ciencia que estudia las formas del relieve terrestre teniendo en cuenta su origen, naturaleza de las rocas, el clima de la región y las diferentes fuerzas endógenas y exógenas que de modo general entran como factores constructores del paisaje, desarrollado en el transcurso del tiempo geológico.

LAGO: Depresión del suelo producida por diversos procesos geológicos, colmatados de agua más o menos tranquilas.

LANDSAT: Satélite tecnológico terrestre. Land = tierra, Sat = Satélite, lanzado por la NASA-USA con el objeto de obtener imágenes de la superficie terrestre y realizar con éstas estudios de los recursos naturales.

LECHO DE UN RÍO: Canal por donde discurren las aguas de un río en épocas normales.

LITOLOGÍA: Ciencia que estudia el origen, evolución y clasificación de las rocas.

MEANDRO: Sinuosidades formadas por los ríos en un estado de desarrollo maduro o senil, generalmente en terrenos planos. Los meandros presentan un margen cóncavo o de erosión o solapamiento y un margen convexo o de deposición.

MONOCULTIVO: Toda la zona cultivada se dedica a un solo cultivo.

PAISAJE: Aspectos morfológicos de una región producto final de todos los procesos geológicos realizados sobre los terrenos de dicha región.

PANTANO: Terreno plano ubicado en áreas adyacentes a los ríos o en áreas hundidas que se encuentran inundadas, generalmente con aguas estancadas

PENDIENTE: Superficie inclinada de un terreno.

PERFIL LONGITUDINAL DE UN RÍO: Es la representación gráfica de la pendiente de un río, corresponde a la relación entre las alturas y la longitud del curso de las aguas

PERFIL TRANSVERSAL DE UN RÍO: Es el corte transversal de una región de la superficie terrestre donde se muestran todos los accidentes.

PIXEL: Resolución espacial

PLANICIE DE INUNDACIÓN: Terraza fluvial poco elevada con respecto al nivel del río y que se inunda durante las avenidas.

PLIEGUE: Deformación de las rocas estratificadas, debido a los esfuerzos de compresión, a las propiedades plásticas de éstas y a las condiciones de elevada presión reinante, tomando formas onduladas. Los plegamientos pueden ser simétricos o asimétricos, dependiendo si el plano axial divide o no en partes iguales a la estructura plegada.

PRECÁMBRICO: Período geológico o Era desarrollada antes del Cámbrico, primer período de la Era Paleozoica.

RÁPIDO: Trecho corto de un río, donde su perfil longitudinal es pronunciado, produciéndose un aumento en la velocidad de la corriente fluvial.

RÍOS: Concentración de las aguas de escorrentía en un cauce definido y sobre el cual discurren.

RELIEVE: Son las múltiples formas que presenta la superficie del globo terrestre, debido a los factores erosivos y sedimentarios, así como a los tectónicos.

SALTO: Denominación genérica dada a todos los desniveles que se observan en el perfil longitudinal de un río.

SEDIMENTO: Material fragmentario originado por la erosión y/o alteración de las rocas pre-existentes susceptible de ser transportado y depositado en los fondos marinos, fondos lacustres y depresiones continentales.

SEDIMENTACIÓN: Es el proceso geológico mediante el cual los materiales detríticos erosionados de las rocas preexistentes se acumulan en un determinado lugar. Los materiales sedimentados por consolidación y diagénesis se transforman en rocas sedimentarias.

TRIBUTARIO: Es el río que desemboca en otro río de mayor importancia.

VALLE: Depresión de los terrenos de forma longitudinal, de muchos kilómetros de extensión y sobre cuyos fondos o lechos fluviales discurre los ríos.

VALLE FLUVIAL: Es una hendidura producida por el río al excavar y está limitada por dos laderas o vertiente.