

IDENTIFICACIÓN, DELIMITACIÓN Y ANÁLISIS MORFOMÉTRICO DE LAS MICRO CUENCAS DEL DEPARTAMENTO DE PARAGUARI. ¹

Luis Harit Flecha Benitez ²
Gustavo Adolfo Rolon Paredes ³
Silvio Vega ⁴
Arnulfo Encina ⁵

ABSTRACT

In the ground department and territorial arrangement of the Faculty of Agrarian Sciences of the National University of Asunción, San Lorenzo, this work was made with the purpose of getting informations about microbasins from the Paraguari Department for the obtaining of the informations, the microbasins were identified and delimited using cartographic informations in paper format and digital, to make then the morphometric analysis from the before mentioned. Eight sub-basins were delimited and identified, four delta areas, and seventy one microbasins. The microbasins with the biggest area was Mbuyapey and the small superficie was Ytororó; the other microbasins were among 1500 and 3000 has. The stimation of the risk to flood through the basins form, showed that thirty microbasins are susceptible and twenty eight are susceptible in certains epochs in a year. Wide average lower to 3000 mts, were found in nine microbasins and superior to 8500, were ten, the other microbasins are among these ranks. The pendants of the of 0 to 2%, to 2 to 6%, 6 to 12%, 12 to 25% were found in all the microbasins, bigger to 25% were not found in four microbasins. Empalada and presents 375 m.s.n.m., the other microbasins go from 345 to 120 m.s.n.m. the density of drainage makes a stimulation that only 2 microbasins and 2 deltas areas are bad drained. By the orientation, it is stimated that eighteen microbasins have good daily duration of sunlight.

RESUMEN

En el Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, se llevó a cabo el presente trabajo con el propósito de obtener informaciones sobre las micro-cuencas del Departamento de Paraguari. Para la obtención de las informaciones se procedió a identificar y delimitar las micro-cuencas, utilizando informaciones cartográficas en formato papel y digital, para luego realizar los análisis morfométricos de los mismos. Fueron identificadas y delimitadas 8 sub-cuencas, 4 áreas delta y 71 micro-cuencas. La micro-cuenca, de mayor área fue Mbuyapey y la de menor superficie Ytororó, las demás micro-cuencas se encontraron entre las 1500 y 30.000 has. La estimación del riesgo a crecidas, mediante la forma de la cuenca demostró que 30 micro-cuencas son susceptibles, 13 micro cuencas son poco susceptible y 28 son susceptibles en ciertas épocas del año. Con ancho promedio inferior a 3000 metros, fueron encontradas 9 micro cuencas y las superiores a 8500 metros, fueron 10 y las demás micro-cuencas se encuentran entre esos rangos. Las pendientes de 0 a 2%; 2 a 6%; 6 a 12%; 12 a 25%; fueron encontradas en todas las micro-cuencas; mayor a 25% no se encontraron en cuatro micro-cuencas y en las áreas deltas. La mayor altitud media presenta la mayor micro-cuenca Empalada y presenta 375 m.s.n.m., y las demás micro-cuencas van de 345 a 120 m.s.n.m. La densidad de drenaje hace estimar que sólo 2 micro-cuencas y 2 áreas deltas son mal drenados. Por la orientación se estima que, 18 micro-cuencas poseen buena duración diaria de luz solar.

1 Parte de la Tesis presentada a la FCA/UNA para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

2 Ing. Agr. Egresado de la FCA/UNA. Promoción 2003.

3 Ing. Agr. Prof. Adjunto. Dpto. de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Carrera Ing. Agronómica. FCA/UNA, Campus Universitario, San Lorenzo.

4 Ing. Agr. Prof. Adjunto. Dpto. de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Carrera Ing. Agronómica. FCA/UNA, Campus Universitario, San Lorenzo.

5 Ing. Agr. Prof. Adjunto. Dpto. de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Carrera Ing. Agronómica. FCA/UNA, Campus Universitario, San Lorenzo.

INTRODUCCIÓN

La utilización inadecuada de los recursos de la tierra, especialmente del suelo en la explotación agropecuaria, aparejada con la escasa incorporación de medidas de manejo de suelo y agua ha originado la degradación acelerada de los recursos naturales.

Además se puede mencionar el aumento de la población, que ejerce una presión directa sobre los recursos para satisfacer sus necesidades. Por esto en la actualidad se van habilitando tierras para el sector agrícola o se producen migraciones del sector rural al urbano dejando tierras con baja productividad y generando una serie de problemas sociales.

Estos acontecimientos revelan la urgente necesidad de planificar en forma adecuada el uso de los recursos, por eso en este trabajo se tiene el propósito de delimitar y estudiar las micro-cuencas del departamento de Paraguari generando informaciones que puedan sentar las bases para un desarrollo sostenible.

Como antecedentes se pueden citar la delimitación y cuantificación de las micro-cuencas del departamento Central y del distrito de Atyra realizados en el Departamento de Suelos y Ordenamiento Territorial de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción. Asimismo se puede mencionar la asistencia de la Itaipú Binacional en el área de embalse y la ejecución de varios proyectos en el ámbito nacional, donde los especialistas han recomendado la utilización de las micro-cuencas hidrográficas como unidad básica de planificación.

La naturaleza del trabajo consiste en un análisis minucioso de la red hidrográfica así como las elevaciones presentes en las geoformas del departamento de Paraguari de manera a identificar los límites de las micro-cuencas y realizar una serie de análisis de cada una que permitan obtener informaciones tendientes a proyectar una planificación sostenible.

El objetivo del trabajo fue identificar y delimitar las sub-cuencas y micro-cuencas de modo a obtener el perímetro y el área ocupada por las micro-cuencas así también la longitud axial, forma, ancho promedio, altitud, pendiente, orientación y densidad de drenaje de las micro-cuencas del departamento de Paraguari.

Se han enunciado como hipótesis que el departamento de Paraguari está constituido por lo menos de tres sub-cuencas y más de 50 micro-cuencas, y que las características morfométricas son similares en más del 50% entre las micro-cuencas.

Este estudio tiene una relación estrecha con una política de manejo de suelos y agua en el ámbito nacional, departamental o distrital y las informaciones generadas

serán de interés para los geólogos, forestales, ecólogos, sociólogos, biólogos y profesionales afines a las ciencias ambientales.

Es fundamental utilizar las informaciones recabadas en este estudio en el departamento de Paraguari, ya que no está exento de los problemas de degradación de suelos y es prioritaria la toma de decisiones de carácter correctivo y/o preventivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El departamento de Paraguari posee una extensión total de 870.500 hectáreas. Los distritos de mayor superficie son Caapucú con 245.939 hectáreas, que representa el 28,24% de la superficie total del departamento, seguido por Mbuyapey con 92.098 hectáreas que representa el 10,57% del departamento. El distrito de Ybycui ocupa el tercer lugar en extensión con 81.516 hectáreas y abarca el 9,36% de su extensión.

Entre los distritos de menor extensión se puede citar a La Colmena con 10.676 hectáreas de extensión, apenas con el 1,22% de la superficie departamental, seguido por Tebicuary-mi con 15.894 hectáreas de superficie y 1,8% del departamento. Pirayú ocupa el tercer lugar con 18.824 hectáreas y el 2,6% de la superficie departamental.

Los distritos restantes poseen una superficie que oscila entre 19.000 y 70.000 hectáreas, y están distribuidos de la siguiente forma, Sapucaí, Roque González, Caballero, Yaguaron, Escobar, Acahay, Ybytymi, Paraguari, Carapegua, Quyquyho, Quiindy, y entre todos representan el 46,63% del departamento.

Cuadro 1. División distrital del depto. de Paraguari con sus respectivas superficies

Distritos	Superficie (has)
1. La Colmena	10.676
2. Pirayú	18.824
3. Roque González	21.460
4. Sapucaí	19.427
5. Yaguaron	23.608
6. Tebicuary-mi	15.894
7. Caballero	23.564
8. Acahay	32.740
9. Escobar	28.683
10. Ybytymi	40.303
11. Paraguari	45.818
12. Carapegua.	47.849
13. Quiindy	62.718
14. Quyquyho	59.383
15. Ybycui	81.516
16. Mbuyapey	92.098
17. Caapucú	245.939

Fuente: Dirección General de estadísticas Encuestas y Censos (1995)

Se utilizó informaciones cartográficas como cartas planialtimétricas, ortofotocartas e imágenes satelitales a escala 1:100.000 en formato papel y digital.

Los equipos que fueron utilizados son computadora, impresora, G.P.S. (Sistema de Posicionamiento Global) papeles de impresión, una cámara fotográfica digital. Los programas utilizados fueron: Arc View 3.2, Autocad Land Development, software de G.P.S. Pcx5, Microsoft Office y el sistema operativo Microsoft Windows.

Identificación de las sub-cuencas y micro-cuencas del departamento de Paraguari.

En primer lugar se procedió a la colección y compilación de información secundaria (mapas hidrológicos, ortofotocartas e imagen satelital en formato digital y cartas planialtimétricas a escala 1:100.000.) del departamento Paraguari.

Con la utilización del mapa hidrográfico y de las cartas planialtimétricas a escala 1.100.000 se realizó un análisis de la red hidrológica y las altitudes que se hallan dentro del departamento, a fin de determinar la dirección por donde escurren las aguas y distinguir de esta forma las áreas drenadas por los diferentes cursos de agua.

Luego del reconocimiento detallado de la red hidrográfica y de las altitudes de las áreas de drenaje en la carta planialtimétrica, se procedió a la delimitación manual de cada sub-cuenca y micro-cuenca mediante la unión de las cumbres (puntos con cotas más elevadas) e identificarlos con el nombre respectivo del cauce o si corresponde al mismo cauce de la compañía correspondiente.

Delimitación de las sub-cuencas y micro-cuencas del departamento de Paraguari

Una vez delimitadas las micro-cuencas en forma manual, sobre las cartas planialtimétricas a escala 1:100.000, se realizó el calcado de las mismas en papel vegetal, y luego fueron escaneadas y georeferenciadas con el programa Autocad Land «Development» para su digitalización con el programa Arc View 3.2.

Con la utilización de curvas de nivel en formato digital, en el programa Autocad Land «Development», se construyó el modelo digital de elevación (vista tridimensional) del departamento. Superponiendo el modelo digital de elevación y el mapa de micro-cuencas y sub-cuenca preliminar, en el programa Arc View 3.2 se efectuó la verificación, corrección y ajustes de los límites de los mapas generados en forma manual.

Con la utilización de las ortofotocartas del año 1994 en formato digital se realizó la digitalización de la red vial e hidrográfica, y fueron actualizadas con imágenes satelitales del año 2001 en el programa Arc View 3.2. Así mismo se generó el mapa de pendiente de las micro-cuencas mediante la utilización de las curvas de nivel en

formato digital y herramientas del programa Arc View 3.2

Con la utilización de una camioneta 4 x 4, la carta y ortoimagen, el G.P.S. y otros materiales de apoyo se realizó el recorrido de reconocimiento del departamento de Paraguari donde se procedió a la identificación y verificación de las sub-cuencas y micro-cuencas obtenidas en gabinete.

Al mismo tiempo fueron georeferenciadas los cursos de agua que componen la red hidrográfica del departamento y las principales infraestructuras del mismo. Además fue verificado el mapa de pendiente generado en gabinete y ajustado donde correspondía.

Análisis morfométrico de las micro-cuencas del departamento de Paraguari

Con los datos obtenidos de la georeferenciación a campo se llevó a cabo la verificación y ajustes de los límites de las micro-cuencas y sub cuencas, pendiente, red vial y la red hídricas del departamento.

Una vez ajustados todos los límites de las micro-cuencas, se procedió al análisis morfométrico del área de captación y de la red hidrográfica de cada una de las micro-cuencas del departamento.

Los análisis que fueron realizados son la determinación de la superficie, el perímetro, longitud del cauce, forma y ancho promedio, orientación, pendiente, altitud y densidad de la red de drenaje de las micro-cuencas.

Para la determinación de la superficie, perímetro, longitud axial, longitud del cauce principal y de los cursos de agua fueron utilizadas herramientas del programa Arc View 3.2.

La obtención del ancho promedio resultó de la relación del área de captación, expresada en metros cuadrados y la longitud, expresada en metros, y se puede obtener por la fórmula (1).

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud Axial}} \quad (1)$$

La forma de una micro-cuenca se determinó a través del índice coeficiente de Compacidad, que se define como el valor resultante de dividir el perímetro de la micro-cuenca por el perímetro de un círculo de igual área comprendida por la cuenca. Para hallar este índice se utilizó la fórmula (2).

$$Kc. = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \cdot A} \quad (2)$$

Donde :

Kc.: es el índice de compacidad.

P: es el perímetro de la cuenca en metros.

TI: es el signo de PI su valor igual a 3,1416.
 A: es el área de la cuenca expresada en metros cuadrados.

Al conocer el índice de compacidad se pueden distinguir básicamente tres formas, conforme se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 1. Clases de forma

Clase de forma	Rangos de compacidad. (Kc.)	Forma de la cuenca
Clase Kc1	De 1.0 a 1.25	Casi redonda a oval redonda.
Clase Kc2	De 1.25 a 1.50	Oval redonda a oval oblonga.
Clase Kc3	De 1.50 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: HENAO; 1.988.

La altitud de la micro-cuenca es uno de los factores físicos que facilita el análisis del movimiento del agua en la cuenca.

La altitud de las micro-cuencas se obtuvo mediante la utilización de curvas de nivel, se halló la altitud media con la interpretación de las cotas, mínima y máxima, de las curvas de nivel en cada micro-cuenca. La altitud media resulta de la sumatoria de la altitud máxima y mínima divididos entre dos.

Las pendientes de las micro-cuencas fueron obtenidas con el programa Arc View 3.2 mediante la utilización las curvas de nivel en formato digital y los rangos utilizados son los siguientes:

Tabla 2. Rangos de pendiente

Clase	Pendiente (%)	Riesgo de erosión
A	0-2	Escaso
B	2-6	Moderado
C	6-12	Fuerte
D	12-25	Muy fuerte
E	> 25	Muy severo

Fuente: LEPSCH; et al 1.991.

Para obtener la orientación de las micro-cuencas se tiene en cuenta la dirección del cause principal, a partir del origen del curso hasta su desembocadura. La orientación de la micro-cuenca adquiere importancia por las horas luz que recibe y su influencia en la evaporación, transpiración y otros aspectos que influyen en el comportamiento del agua en una micro-cuenca.

La obtención de la densidad del sistema de drenaje se realizó mediante la aplicación de la fórmula (3) que consiste en la relación entre la longitud de todos los cursos hídricos de la micro-cuenca y sus respectivas áreas.

$$Dd = \frac{\sum Lx}{A} \quad (3)$$

Donde:
 Dd: es la densidad de drenaje.
 Lx: es la longitud de los tributarios en metros.
 A: es el área de la cuenca en hectárea.

Una vez determinada la densidad de drenaje se realizó la clasificación de las micro-cuencas en bien drenadas y pobremente drenadas, según la siguiente tabla:

Tabla 3. Tipos de drenaje

Clasificación de drenaje	Densidad de drenaje
Bien drenadas	>2,5
Pobremente drenadas	<2,5

Fuente: HENAO, 1.988

Una vez culminado los análisis morfométricos se procedió a componer un mapa base, un mapa hidrográfico, un mapa de curvas de nivel, un mapa de pendiente y un mapa de micro-cuencas del departamento de Paraguari, a escala adecuada de manera a no perder la información de los mismos.

Al mismo tiempo se realizó el procesamiento de los resultados obtenidos y la redacción del trabajo de tesis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del sistema hidrológico del departamento de Paraguari

Río Tebicuary-mi

El río Tebicuary-mi posee una extensión de 326,1 Km y sirve de límite con los departamentos de Guaira y Misiones. Dentro del departamento forma una sub-cuenca en el lado sur-este que posee una superficie de 1.018,8 Km² lo que representa el 11,7% del departamento.

Algunos arroyos que tributan en el mismo se mencionan a continuación.

Arroyo Tebicuary-mi: Cuenta con 28,78 Km de extensión y nace de la integración de los arroyos Tranquera (12,75 Km) y Mendoza (9,67 Km) y desemboca en el río, formando parte del límite con Guairá. Este arroyo cuenta con tributarios como el arroyo Cerrito (11,15 Km) y el arroyo Rory (12,50 Km).

Otros tributarios del río Tebicuary-mi son los arroyos Azul (14,41 Km), Cristalino (14,60 Km) y Cristal (33,78 Km), este ultimo sirve de límite entre Mbuyapey y el departamento de Guairá.

Estero del Ypoa

También se destacan las masas de agua del lago Ypoa y las lagunas Vera, Cabral y Paraná-mi que se encuentran dentro de una gran planicie denominada esteros del Ypoa,

éste dentro del departamento representa el 34,12% de la superficie, y es clasificada como un área delta.

Uno de los tributarios del estero es el arroyo Aguaihy 14,65 Km limita los distritos de Carapegua con San Roque González de Santa Cruz, Canguery (13,25 Km), Nandypa'y (14,08 Km) que limita San Roque González de Santa Cruz con Quiindy; Mboi Cuatia (18,87 Km); Fleitas (21,30 Km); Perpetuo Socorro (13,01 Km) y las Mercedes (13,57 Km) que limita los distritos de Caapucú con Quyquyho.

Arroyo Mbuyapey

Entre otros cursos hídricos que se encuentran en el departamento se destaca el arroyo Mbuyapey con una extensión de 122 Kilómetros y nace de la unión de dos cursos importantes que son el arroyo Cururú-cua (33,44 Km) y el arroyo Mbusuy-i (42,2 Km) entre los distritos de Quyquyho e Ybycui y desemboca en el río Tebicuary. Este curso limita los distritos de Quyquyho con Mbuyapey y en sus inicios, Ybycui con Quyquyho.

El arroyo Mbuyapey es el drenaje principal de la sub-cuenca del mismo nombre y posee un área 1562,3 Km² y representa el 17,94% de la superficie del departamento, se pueden apreciar algunos tributarios de este arroyo que son:

Arroyo Mbusuy'i: Posee una extensión total de 42,2 Km. de extensión y tiene su nacimiento en el distrito de Quiindy, se une con el Cururú-cua para dar inicio al arroyo Mbuyapey. Entre sus principales tributarios podemos citar a los arroyos Paso Pared (12,11 Km), Alcaraz (8,21 Km) y el arroyo Correa (8,12 Km).

Arroyo Cururú-cua: Posee una extensión de 33,44 Km y no presentan tributarios muy importantes. Este arroyo limita los distritos de Ybycui con Quyquyho y también al de Quiindy con Caapucú.

Arroyo Ybycui: Este curso alcanza una longitud de 25,41 Km y desemboca en el arroyo Mbuyapey, cuenta como tributarios a los arroyos Corrientes (35,04 Km) y Caraimi (17,05 Km), este último nace en Ybycui y limita este distrito con Mbuyapey.

Arroyo Tacuary: Este tributario del Mbuyapey cuenta con 14,81 Km de extensión y no presenta tributarios de importancia.

Arroyo Yaguary: Con una extensión de 64 Km, nace en Caapucú y continúa su curso por Quyquyho, para desembocar en el río Tebicuary. Este curso drena la sub-cuenca del mismo nombre, de 617,23 Km² de superficie que representa el 7,09 por ciento de la superficie total del departamento. Entre los tributarios del arroyo Yaguary podemos citar:

Arroyo Itapé: Es el tributario de mayor extensión con un recorrido de 32,66 Km. y a su vez presenta once tributarios de escasa longitud. Nace en el distrito de Quiindy, pasa por el distrito de Caapucú limitándolo en parte con Quyquyho.

Arroyo Caapucú: Este arroyo es el segundo tributario en importancia, está situado en el distrito del mismo nombre, posee una extensión de 16,54 Km y presenta dos tributarios de poca extensión.

Arroyo Quyquyho: Este tributario del arroyo Yaguary es el de menor extensión, con 8,39 Km y cuenta con seis tributarios; el mismo nace en el distrito de Quyquyho.

Arroyo Ca'añabe: Unos de los cursos más importantes del departamento es el arroyo Ca'añabe que nace en el distrito de Caballero y limita los distritos de Sapucaí con Acahay, Paraguari con Carapegua y Acahay y Yaguaron con Carapegua, con un recorrido total de 97,14 Km hasta desembocar en el estero del Ypoa, cruza el departamento de Este a Oeste.

El arroyo Ca'añabe: sirve de drenaje para la sub-cuenca del mismo nombre que posee una superficie de 1683,35 Km² que representa el 19,33% de la superficie del departamento. Sus principales tributarios son:

Arroyo Ñandua: Nace en el distrito de Yaguaron y sirve de límite con el departamento de Central, posee una extensión de 16,30 Km.

Arroyo Yaguaron: Nace en el distrito del mismo nombre y recorre 20,62 Km hasta desembocar en el arroyo Ca'añabe.

Arroyo Yukyry: Nace en el distrito de Paraguari, tiene un recorrido de 18,53 Km. hasta su desembocadura en el arroyo Ca'añabe en el distrito de Carapegua, su principal tributario es el arroyo Ñuati con 8,72 Km.

Arroyo Mbaey: Es uno de los tributarios más importantes con un recorrido de 26,03 Km posee su nacimiento en el distrito de Sapucaí, pasa por Escobar, hasta desembocar en el Ca'añabe dentro del distrito de Paraguari. Como tributarios de este podemos citar los arroyos Piraty (6,73 Km), Guazú-cua (15,88 Km), arroyo Pora (3,42 Km), Yacaré (9,88 Km), Tulio (7,19 Km), Reventón (5,79 Km).

Arroyo Naranja'y: Este arroyo nace en Caballero y cruza los distritos de Escobar, Sapucaí, y le sirve a este de límite con el distrito de Paraguari, tiene un recorrido total de 21,77 Km de extensión.

Arroyo Tapytangua: Tiene un recorrido total de 18,61 Km de extensión, nace en el distrito de Ybycui, para desembocar en el Ca'añabe atraviesa de sur a norte el distrito de Acahay.

Arroyo Verde: Este curso tiene su nacimiento en el distrito de Acahay y posee una extensión de 20,92 Km, hasta su desembocadura en el Ca'añabe.

Arroyo Tacuary: Posee una extensión de 19,09 Km nace en el distrito de San Roque González de Santa Cruz y limita los distritos Acahay con Carapegua.

Arroyo Pirayú

Es otro de los cursos principales del departamento y pertenece a la cuenca del lago Ypacarai, nace de la intersección del arroyo Mbatoví con el arroyo Costa en el límite del distrito de Paraguari; dentro del departamento tiene una extensión de 12,79 Km que se prolonga dentro del departamento de Central (Barboza; 2000).

Sirve de drenaje a la sub-cuenca del mismo nombre, con menor superficie dentro del departamento ocupando una extensión de 270,58 Km² y representa el 3,1 por ciento del departamento. Entre sus principales tributarios podemos citar:

Arroyo Madama: Tiene una extensión de 7,46 Km de longitud, nace en el distrito de Pirayú en donde desemboca en el arroyo Pirayú.

Arroyo Paso Barreto: Posee una longitud de 10,03 Km desde su nacimiento hasta la desembocadura con el Pirayú.

Arroyo Mbatoví: Nace en el distrito de Paraguari y tiene una extensión de 13,76 Km y de la unión de este con el arroyo Costa (6,86 Km) nace el arroyo Pirayú, en el límite de los distritos de Pirayú con Paraguari.

Otros tributarios del arroyo Pirayú son: Paraná (2,41 Km), Servín (5,58 Km), Zanja Jhú (5,70 Km).

Arroyo Yhaguy

El arroyo Yhaguy es otro curso de importancia por ser uno de los límites naturales del departamento en este caso con el departamento de Cordillera. Posee una extensión de 23,67 Km dentro del departamento y drena la sub-cuenca, de menor superficie, con 65,36 Km² que representa solo el 0,75% del departamento.

Posee tan solo dos tributarios de importancia y son los arroyos Naranja, con una extensión de 6,13 Km y se encuentra dentro del distrito de Paraguari.

Otro curso es el Itá Moroti con 7,56 Km de extensión que nace en el distrito de Paraguari y en parte de su extensión limita con el distrito de Escobar.

Arroyo Yhaca

Nace dentro del departamento de Paraguari en el distrito de Paraguari, cruza el de Escobar para luego salir al departamento de Cordillera, en parte de su trayectoria limi-

ta los distritos de Caballero e Ybytymi con el departamento de Cordillera. Tiene un recorrido total dentro del departamento de 42,36 Km Sus principales tributarios son:

Arroyo Ca'ary: Nace en el distrito de Escobar pero desemboca en el departamento de Cordillera tiene un recorrido de 13,25 Km dentro del departamento.

Arroyo Ytororo: Tiene una extensión de 6,85 Km y nace en el distrito de Escobar y en parte de su recorrido es uno de los límites naturales con el distrito de Sapucaí.

Arroyo Ovecha: Su nacimiento se encuentra en el distrito de Sapucaí y constituye un límite natural con el departamento de Cordillera, su extensión es de 7,86 Km.

Arroyo Paso Pypucú: Nace en el distrito de Caballero y en parte de su recorrido le sirve de límite a este distrito con el de Ybytymi, con un recorrido de 16,28 Km cuenta con dos tributarios principales que son los arroyos Toro (9,40 Km) y Mbopicua (5,47 Km) que sirve de límite entre Sapucaí y Caballero.

Arroyo Pira Ybyguy: Tiene una extensión de 5,67 Km y limita Caballero con Ybytymi, nace a partir de la unión entre los arroyos Paso Ybyraro (6,63 Km) y el arroyo Porá (3,42 Km).

Identificación, Delimitación, Perímetro y Área de las Sub-cuencas y las Micro-cuencas del departamento de Paraguari

En el departamento de Paraguari fueron identificadas y delimitadas seis sub-cuencas, setenta y un micro-cuencas, además de cuatro áreas delta, las que representan zonas bajas y llanuras cuya masa de agua no tiene fluida salida hacia algún drenaje natural.

Las aguas del departamento drenan por el río Tebicuary-mi y también por el arroyo Pirayú al lago Ypacarai.

Las que ocupan mayor superficie son las áreas delta que oscila entre las 25.000 y 205.000 hectáreas, a pesar de que solo el delta del Estero del Ypoa supera las cien mil hectáreas y solo el delta del Tebicuary es inferior a las cuarenta mil hectáreas.

Las micro-cuencas que cuentan con una superficie de entre 45.000 y 15.000 hectáreas son: Mbuyapey 41.152 (ha), Yaguay 28.694 (ha), Cururú-cua 23.086 (ha), Mbusuy'i 17.373 (ha), Tebicuary-mi 16.334 (ha), Virgen de Fátima 15.393 (ha), Ybycui 15.168 (ha).

De acuerdo a lo expresado por Hernández (1983), las cuencas de mayor área tienen mas posibilidad de almacenar humedad en el valle, por lo tanto, mayor capacidad de alimentar la corriente de agua durante los meses de verano.

Asimismo encontramos en el departamento las micro-cuencas de menor tamaño que van de 2.300 a 1.300 hectáreas aproximadamente, y estas son: Paso Ybycui 2.270 (ha), Yhaguy 2.103 (ha), Guajho 2.290 (ha), Tacuary 1.990 (ha), Itá Moroti 1.745 (ha), Ytororo 1.359 (ha); las restantes 58 micro-cuencas poseen áreas entre 2.500 y 15.000 hectáreas.

Forma, Ancho promedio y Longitud Axial de las micro-cuencas

Mediante la obtención de la longitud axial con herramientas del programa Arc View 3.2, y con el área ya determinada se procedió al análisis de la forma de las micro-cuencas y la obtención del ancho promedio de las mismas.

Dentro de la clasificación de la forma de la micro-cuenca Casi redonda a oval redonda que comprende el rango de compacidad de 1,0 a 1,25 fueron encontradas treinta micro-cuencas lo cual implica que la posibilidad de crecidas es mayor porque el tiempo de concentración del agua es menor (Henao, 1988). Las micro-cuencas que presentan esta clase de forma son:

Pira Ybyguy, Mbaey, Quyuho, Ramírez, Yaguaron, Pirati'y, San Carlos, Tacuary, Tobatingua, Mborevi, Tebicuary-mi, Zanja Moroti, Rivarola-cue, Aguaihy-mi, Ovecha Tebicuary-mi, Ytororo Mbopicua, Cerrito. Tacuaty, Arroyo Pora. Empalada, Paso Barreto, Reventón, González, Moreno.

También fueron encontradas trece micro-cuencas con el rango mayor a 1,50 que indica la poca susceptibilidad de la cuenca a las crecidas y lleva la denominación de la forma de oval oblonga a rectangular oblonga. Estas micro-cuencas son: Paso Ybycui, Cristalino, Verde, Canguery, Pirayú, Mbopicua, Ca'ary, Ñandua, Yhaguy, Cristal, Tebicuary-mi, Mbuyapey, Yhaca.

El resto de las micro-cuencas se encuentran dentro de los rangos 1,25 a 1,50 cuya forma es la oval redonda a oval oblonga y son cuencas que son susceptibles a crecidas en ciertas épocas del año de acuerdo a lo expresado por Henao (1988).

Según la UDA (1985), el ancho promedio es uno de los análisis morfométricos que nos ayuda a estimar el tiempo que tarda el agua en llegar desde la divisoria hasta el curso de drenaje y su influencia en el riesgo de crecidas.

Las micro-cuencas con un ancho promedio inferior a 3000 metros, fueron las siguientes: Tebicuary-mi, Canguery, Ytororo, Itá Moroti, Yhaca, Ca'ary, Tranquera, Mbopicua, Mboi cua. Según Henao (1988), se estima que estas micro-cuencas son en las que el agua llega más rápido desde las divisorias hasta el canal de drenaje principal y esto implicaría una mayor probabilidad de erosión de los cauces por acción del agua.

En cambio las micro-cuencas de mayor ancho promedio se encontraban entre los 85.000 y 150.000 metros y son las cuencas donde el agua tarda mas tiempo en llegar de las cumbres al canal de drenaje e implica la susceptibilidad a las crecidas, estas son: Yhaguy, Correa, Cururú-cua, Yaguary, Virgen de Fátima, Aguaihy-mi, Mendoza, Moreno, Mbuyapey, Tebicuary-mi.

Pendiente y Altitud media de las micro-cuencas

La pendiente nos da una pauta sobre el riesgo de erosión que puede sufrir una micro-cuenca porque influye en la velocidad con que se escurre el agua, y la probabilidad que tiene el agua de infiltrarse (Henao, 1988).

En cambio la altitud de una micro-cuenca tiene relación con la temperatura y su influencia sobre la evapotranspiración, pues aumenta o disminuye la pérdida del agua con la altitud (Rojas, 1993).

Pendiente de 0-2%

Las micro-cuencas con menor superficie de pendiente dentro de este rango fueron las siguientes; Ytororo 191 ha (14.04%), Corrientes 1091 ha (15.55%), Naranjo 408 ha (16.41%), Ovecha 557 ha (16.55%), Itá Moroti 312 ha (17.89%) Horqueta 606 ha (17.97%), Carai-mi 1191 ha (19.10%), Yhaguy (19.28%).

Las micro-cuencas de mayor porcentaje de su superficie en este rango de pendiente oscila entre los 70 y 88% aproximadamente.

Estas micro-cuencas son: Reventón 6931 ha (70.44%), Ñandypa'y 3105 ha (70.83%), Ñandua 2881 ha (71.02%), Las Mercedes 2993 ha (71.58%), Ca'añabe 8050 ha (72.28%), Cururú-cua 16957 ha (73.51%), Tebicuary-mi 1524 ha (77.04%), Mbusuy-i 13844 ha (80.16%), Yaguary 23935 ha (83.68%), Mbuyapey 35995 ha (87.47%).

Pendiente de 2-6%

Este rango de pendiente corresponde a la clase B y con un riesgo de erosión moderado. Las micro-cuencas que menor superficie ocupan de este rango de pendiente son las que se citan a continuación:

Mbuyapey 4548 ha (11.07%), Yaguary 3881 ha (13.57%), Zanja Moroti 563 ha (15.94%), Tebicuary-mi 813 ha (16.32%), Mbusuy-i 2889 ha (16.72%), Mbaey 835 ha (16.85%), Cerrito 680 ha (18.28%), Pirayú 2447 ha (19.02%), Pira Ybyguy 1061 ha (20.16%), Ca'añabe 2235 ha (20.71%), Azul 1093 ha (23.39%), Reventón 2306 ha (23.43%), Cururú-cua 5573 ha (24.16%).

Las que presentan mayores superficies van de cincuenta a sesenta y ocho por ciento, que son las micro-cuencas: Verde 2710 ha (52.19%), Tacuaty 3943 ha (53.64%), Ca'ary 2033 ha (56.24%), Naranjo 1400 ha (56.33%), Pirati'y 2119 ha (56.38%), Horqueta 2049 ha (60.76%), Yhaca (62.63%), Yhaguy 1357 ha (64.54%), Ytororo 888

ha (65.34%), Itá Moroti 1182 ha (67.80%).

Pendiente de 6-12%

Este rango de pendiente se considera como clase C, donde el riesgo de erosión es fuerte, por lo cual se debe realizar prácticas de manejo de suelos y 38 micro-cuencas no sobrepasan el diez por ciento de su superficie y solo 13 micro-cuencas cuentan con más del 20 % de su superficie, pero la mayor presencia se da en la en la micro-cuenca Corrientes con 2262 ha de superficie.

El menor porcentaje de superficie que presenta este rango de pendiente se aprecia en las siguientes micro-cuencas: Ñandua 21 ha (0,53%), Mbuyapey 511 ha (1,24%), Ñandypa'y 61 ha (1,39%), Canguery 145 ha (1,85%), Cururú-cua 491 ha (2,13%), Yaguaron 134 ha (2,14%), Yaguary 664 ha (2,32%), Las Mercedes 115 ha (2,75%), Mbusuy-i 502 ha (2,91%), Aguaihy-mi 471 ha (3,14%), Quyquyho 228 ha (3,24%), Mbopicua 822 ha (3,33%), Tebicuary-mi 309 ha (3,55%), Tobatingua 265 ha (3,61%), Reventón 375 ha (3,81%), Tacuaty 293 ha (3,99%), Virgen de Fátima 617 ha (4,05%), Yacare-y 671 ha (4,11%).

Las micro-cuencas que poseen mayor porcentaje de superficie en esta clase son: Empalada 979 ha (19,2%), Cristalino 607 ha (19,36%), Fleitas 1053 ha (19,41%), Horqueta 660 ha (19,57%), Tacuary 896 ha (19,87%), Mboicua 624 ha (21,14%), Tranquera 627 ha (21,81%), Guajho 462 ha (22,06%), Naranja 587 ha (23,61%), Carai-mi 1519 ha (24,36%), Paso Barreto 833 ha (25,66%), Ovecha 998 ha (29,62%), Corrientes 2262 ha (32,22%).

Pendiente de 12-25 %

Este rango se conoce como clase D, la cual es clasificada con un riesgo de erosión muy fuerte. La presencia de estas pendientes se pueden apreciar en las siguientes micro-cuencas:

Mbopicua 539 ha (7,06%), Carai-mi 442 ha (7,1%), Pira Ybyguy 380 ha (7,22%), Rory-mi 257 ha (7,42%), Zanja Moroti 265 ha (7,52%), Guajho 161 ha (7,7%), Cristal 757 ha (8,06%), Canguery 823 ha (8,1%), Arroyo Pora 554 ha (8,22%), Cerrito 315 ha (8,47%), Azul 452 ha (9,67%), Corrientes 872 ha (12,34%), Rivarola-cue 591 ha (14,38%), Paso Barreto 627 ha (19,31%).

Las micro-cuencas con menor porcentaje de áreas de este rango de pendiente son: Ñandypa'y 2 ha (0,05%), Tobatingua 5 ha (0,09%), Canguery 1823 (0,14%), Tacuaty 12 ha (0,17%), Cururú-cua 43 ha (0,19%), Mbopicua 4 ha (0,19%), Mbuyapey 87 ha (0,21%), Mbusuy-i 36 ha (0,21%), Tebicuary-mi 5 ha (0,21%), Ñandua 10 ha (0,25%), Quyquyho 16 ha (0,26%), Itá Moroti 5 ha (0,31%), Las Mercedes 16 ha (0,39%), Yaguary 115 ha (0,4%), Aguaihy-mi 66 ha (0,45%), Virgen de Fátima 72 ha (0,47%).

Pendiente mayor a 25 %

Es el rango más elevado y considerado como el que posee mayor riesgo de erosión y corresponde a la clase E de pendiente en donde el escurrimiento superficial es muy rápido por lo que debe utilizarse prácticas de manejo y conservación de los suelos específicos. (López et al, 1995). En el departamento encontramos dieciséis micro-cuencas que poseen entre uno y tres por ciento de su superficie y son:

Zanja Jhú 0.5 ha (1.05%), Mbopicua 82 ha (1.08%), Pira Ybyguy 62 ha (1.18%), Rory-mi 42 ha (1.23%), Mbaey 61 ha (1.23%), Empalada 71 ha (1.41%), Arroyo Pora 96 ha (1.45%), Cristal 137 ha (1.46%), Corrientes 111 ha (1.58%), Azul 79 ha (1.72%), Rivarola-cue 76 ha (1.85%), Zanja Moroti 68 ha (1.93%), Carai-mi 126 ha (2.02%), Cerrito 83 ha (2.25%), Paso Barreto 83 ha (2.55%), Canguery 322 ha (3.08%).

Las micro-cuencas Ñandypa'y, Tobatingua, Canguery 1, Tebicuary-mi e Itá Moroti no presentan este rango de pendiente al igual que las áreas delta, donde no se esperaba encontrar estas pendientes.

Altitud media de las micro-cuencas

El departamento de Paraguari no presenta altitudes sobre el nivel del mar superiores a 600 metros lo que en la media representará un nivel dentro de los cien y cuatrocientos metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Las micro-cuencas que se citan a continuación tienen altitudes de entre cien y ciento cincuenta metros sobre el nivel del mar:

Tacuary (120 m.s.n.m.), González (120 m.s.n.m.), Mbopicua (130 m.s.n.m.), Las Mercedes (130 m.s.n.m.), Paso Pé (130 m.s.n.m.), Zanja Jhú 1 (130 m.s.n.m.), San Carlos (130 m.s.n.m.), Ñandua (130 m.s.n.m.), Perpetuo Socorro (130 m.s.n.m.), Ñandypa'y (135 m.s.n.m.), Tebicuary-mi (135 m.s.n.m.), Mboi Cuatia (135 m.s.n.m.), Fleitas (135 m.s.n.m.), Canguery 1 (140 m.s.n.m.), Paso Ybycui (140 m.s.n.m.), Quyquyho (145 m.s.n.m.), Pirati'y (145 m.s.n.m.), Mboi cua (145 m.s.n.m.), Tacuaty (150 m.s.n.m.), Guajho (150 m.s.n.m.).

Según Henao (1988), a mayor altura de las micro-cuencas, disminuye la evapotranspiración, mientras que aumenta la precipitación, en el departamento las micro-cuencas que sobrepasan la media de los trescientos metros sobre el nivel del mar y representan las de mayor altitud media del departamento son:

Empalado (375 m.s.n.m.) Rory-mi (300 m.s.n.m.), Naranja (305 m.s.n.m.), Ytororo (305 m.s.n.m.), Corrientes (305 m.s.n.m.), Cerrito (310 m.s.n.m.), Mendoza (320 m.s.n.m.), Tranquera (325 m.s.n.m.), Correa (325 m.s.n.m.), Canguery (335 m.s.n.m.), Horqueta (345 m.s.n.m.), Carai-mi (345 m.s.n.m.).

La densidad de drenaje de una cuenca implica la capacidad que tiene la región en evacuar en agua que recibe a través de cauces naturales o los creados por el hombre. De esta manera se puede explicar lo sucedido con las áreas delta que deberían ser pobremente drenadas sin embargo, por la apertura de canales de drenaje, algunas de ellas demostraron en el análisis que poseen buen drenaje.

Las micro-cuencas del departamento que fueron clasificadas como pobremente drenadas son: Mbuyapey, Pirati'y y los deltas del estero del Ypoa y Tebicuary, mientras que las demás micro-cuencas resultaron ser bien drenadas de acuerdo a los análisis realizados.

De acuerdo con Henao (1988), la orientación de las micro-cuencas sirve para estimar la duración de horas luz que recibe la micro-cuenca. De esto podemos deducir que las que cuentan con mejores condiciones de duración de horas luz por estar direccionadas de este a oeste son:

Mbopicua, Horqueta, Ramírez, Virgen de Fátima, Yhaca, Cristalino, Moreno, Naranjo, Pirati'y, Rivarola-cue, Ñandypa'y, Aguaihy-mi, Ca'añabe, Tobatingua, San Carlos, Reventón, Paso Barreto, Arroyo Pora.

Las demás micro-cuencas se estiman que puedan ser de regular a pobre recepción de luz solar por su orientación, según lo expresado por el mismo autor.

CONCLUSIÓN

En el departamento de Paraguari se encuentran 8 sub-cuencas, 71 micro-cuencas y 4 áreas delta.

Las áreas de las micro-cuencas del departamento, van de 41.152 a 1.390 hectáreas, que son el Mbuyapey y el Ytororó respectivamente, mientras que las sub-cuencas van de 6.534 a 297.090 hectáreas y son las sub-cuencas del Pirayú y del Estero del Ypoa, respectivamente.

El perímetro de las micro-cuencas se encuentra entre 15.723 y 137.405 metros, donde la micro-cuenca Ytororó y Mbuyapey cuentan con el menor y mayor de los perímetros respectivamente.

La forma de las micro-cuencas, casi redonda a oval redonda (mayor posibilidad de crecida), son 26 micro-cuencas, la oval redonda a oval oblonga (susceptible a crecidas en ciertas épocas del año) son 32 micro-cuencas y las oval oblonga a rectangular oblonga (poca susceptibilidad a crecidas) son 13 micro-cuencas.

La longitud axial de las micro-cuencas es de entre 2.410 a 36.420 metros, el ancho promedio de la micro-cuencas se encuentran entre 295 a 14.315 metros la altitud media de las micro cuencas del departamento se encuentran

entre 120 a 375 metros sobre el nivel del mar.

El rango de pendiente de mayor presencia en el departamento es de 0-2 % que ocupa 565.800 has (65%), seguido por el rango de 2-6% con 241.400 has (27,7%), de 6-12% 50.750 has (5,83%), de 12-25% con 11.340 has (1,3%), porcentaje mayor a 25 con 1.220 has (0,14%).

La orientación de las micro-cuencas se distribuyó de la siguiente forma: 19 en dirección Norte-Sur, 13 de Noroeste-Sureste, 10 micro-cuencas en dirección Este-Oeste, 9 de Noreste-Suroeste, 8 de Este-Oeste, 4 de Suroeste-Noreste, 2 de Noreste-Este, y una sola micro-cuenca para las direcciones Noroeste-Suroeste, Oeste-Sureste, Sur-Noreste, Sur-Noroeste y Sur-Oeste.

La densidad de drenaje de las micro-cuencas del departamento de Paraguari nos hace estimar que dos micro-cuencas y un área delta son pobremente drenadas, mientras que las restantes son áreas bien drenadas.

LITERATURA CITADA

CEPAL (Comisión Económica por América Latina y el Caribe). 1992. Bases Conceptuales para la Formulación de Programas de Manejos de Cuencas Hidrográficas. Santiago, Chile. 50p.

DGEEC. (Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos). 1995. Paraguay: Atlas de las Necesidades Básicas Insatisfechas. Asunción, FNUAP/PNUD. 195p.

DUARTE, J. 1998. Utilización de Técnicas Agroecológicas por Pequeños Productores en Relación a la Capacidad de Uso Agrícolas de sus Suelos. Tesis (Ing. Ecológ. Humana.). San Lorenzo, PY. Carrera Ingeniería en Ecología Humana. F.C.A. U.N.A. 125p.

FAO. 1988. Pautas para la Evaluación Económica de Proyecto de Ordenación de Cuencas. Roma, Italia. 148p.

FAO. 1990. Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. Roma, Italia. 234p.

FAO. 1996. Planificación y Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina. Santiago, Chile. 227p.

GTZ. 1995. Proyecto de Desarrollo para Pequeño Productor. M.A.G. San Lorenzo, PY. 37p.

HUESPE, SPINZI, BURGOS. 1995. Atlas Ambiental de la Región Oriental del Paraguay. San Lorenzo, PY. U.N.A./F.C.A. Carrera de Ingeniería Forestal. 212p.

- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1976. Proyecto Pilcomayo; Aprovechamiento Múltiple de la Cuenca del Río Pilcomayo. Tomo II. Asunción, PY 150 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1993. Cumbre de la Tierra; Eco 92. San José, Costa Rica. 120 p.
- IICA(Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1994 . Lineamientos para Diagnosticar el Uso Actual y Manejo de los Recursos Naturales Renovables en Estudios Sectoriales Agropecuarios. Asunción, PY. 115 p.
- MORIYA, K. 1992. Degradação e uso do Solo, Aspectos Fundiarios e Socioeconómico da Microbacia do Río Jacutinga – Tupassi, Paraná. Tesis(M Sc). Curitiba, Brasil. U.F.P. 152p.
- MUÑIZ, A. 1980. Manejo Integral de Cuencas y Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Huaraz, 170p.
- RAVELO, C. 1985. Ordenación del Uso del Suelo en las Cuencas Hidrográficas. En Seminario Ecológico y del Medio Ambiente. (2º 1985, Bogotá). Suelo y Vida: Uso, Manejo y Recuperación. Bogotá, Fundación para la Educación Superior. P 30-36.
- SHENG, C. 1992. Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas. FAO. 185p.
- U.D.A. (Universidad de los Andes, Chile). F.C.F. (Facultad de Ciencias Forestales) Departamento de Conservación Hidrológica. 1982. La Cuenca Hidrográfica. 130p.
- U.N.A. (Universidad Nacional de Asunción. PY). F.I.A. (Facultad de Ingeniería Agronómica). C.I.F.(Carrera de Ingeniería Forestal) / GTZ (Misión Forestal Alemana). Mapa de Vegetación y Uso Actual de la Tierra; Región Oriental del PY; Años1986-87. San Lorenzo, PY. Escala: 1:500.000. Color.
- U.S.T. (Universidad de Santo Tomás, Colombia). Departamento de Publicaciones. 1998. Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas. Bogotá, COL.
- FP (Facultad Politécnica)-DINAC (Dirección Nacional de Aeronáutica Civil). 2.001 Distribución de llluvias en el Paraguay. San Lorenzo, Py 1: 1.000.000