

ISSN 0798 - 2437

REVISTA FORESTAL LATINOAMERICANA

51 - 52 VOLUMEN 27 NÚMERO ÚNICO
ENERO - DICIEMBRE 2012



CONTENIDO

51 - 52 VOLUMEN 27 - NÚMERO ÚNICO
ENERO - DICIEMBRE 2012

REVISTA FORESTAL LATINOAMERICANA

Editorial	5
Artículos	7

Fraternidad Hernández

Armando Briceño

Diversidad de insectos en conucos agroforestales en la comunidad indígena Coromoto de Cuao, estado Amazonas

Diver. Insec conucos agrofores en amazonas Insect diversity in agroforestal conucos at Coromoto de Cuao indigenous community, Amazonas state, Venezuela 9

Juan Liendro

Lisbeth Segovia

Evaluación espacial del potencial para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del río Monaicito, estado Trujillo, Venezuela.

Spatial evaluation of the potentiality of growing coffee (*Coffea arabica*) in Monaicito river basin, Trujillo State, Venezuela.
Titulo corto: Evaluación espacial potencial para cultivo de café... 29

Alex Barrios

Esneira Quiñonez

Influencia del Cambio Climático en la Producción de Agua de la Cuenca Alta del Río Pagüey, Venezuela.

Climate Change Impact on water yield of Pagüey watershed, Venezuela..... 53

Francisco Rivas

Edgar Hernández

Funcionabilidad y estabilidad de los diques de control de erosión torrencial construidos entre 1992 y 2004 en la cuenca del río Yacambú, estado Lara, Venezuela.

Performance and stability of torrent control dams built between 1992 and 2004 in the Yacambú upper basin, Lara state, Venezuela 65

Ensayos 107

Yorley Bracho

Aspectos de los Estudios de Impacto Ambiental en Proyectos de Generación Eléctrica con Biomasa Residual

Issues to consider in the Environmental Impact Assessment in projects of Residual Biomass Power Generation 109

Marcelo Vargas-Claros

Necesidades y posibilidades de protección de la cobertura forestal a través del establecimiento de Zonas de Conservación para la Provisión de Agua en los Yungas de La Paz, Bolivia

Needs and possibilities for the protection of forest cover through the establishment of conservation areas for water supply in the Yungas of La Paz, Bolivia 133

Jhonattan Trejo

Ramón Tolosa

Pablo Ninin

Carlos Bloem

Roberto Gil

La ingeniería de materiales. Síntesis documental aplicada al procesamiento primario de la madera con énfasis en las sierras de cintas

The materials engineering. Documentary synthesis applied to primary wood processing with emphasis on the bandsaws 157

EDITORIAL

EDITORIAL

La investigación en temas ambientales es sumamente amplia y compleja, si se entiende la investigación ambiental como la que se ocupa del estudio del entorno, de su relación con la estructura sociocultural, y de las dinámicas que tal relación conlleva. La revista Forestal Latinoamericana entiende que la investigación y el conocimiento del ambiente son parte integral de la vida cotidiana de las poblaciones, y deben ser la base para la construcción de las relaciones armónicas con sus respectivos entornos. Es por ello que en cada número se procura incluir trabajos que denoten temas que tendrán alguna incidencia en el entorno sociocultural en el que se desarrollan, sea esta específico o no.

El presente número se inicia en Venezuela con un artículo sobre Diversidad de insectos en conucos agroforestales en la comunidad indígena Coromoto de Cuao en el estado Amazonas. Seguidamente viajamos al estado Trujillo, para ver la Evaluación espacial del potencial para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del río Monaicito, luego estudiamos la Influencia del Cambio Climático en la Producción de Agua de la Cuenca Alta del Río Pagüey, y finalmente, la Funcionabilidad y estabilidad de los diques de control de erosión torrencial construidos entre 1992 y 2004 en la cuenca del Río Yacambu en el estado Lara.

Contamos con dos ensayos: de Venezuela, Aspectos de los Estudios de Impacto Ambiental en Proyectos de Generación Eléctrica con Biomasa Residual; y de Bolivia, Necesidades y posibilidades de protección de la cobertura forestal a través del establecimiento de Zonas de Conservación para la Provisión de Agua en los Yungas

de La Paz. Como cierre se presenta una revisión que contempla: La ingeniería de materiales. Síntesis documental aplicada al procesamiento primario de la madera con énfasis en las sierras de cintas.

Esperamos que los temas seleccionados le sean del mayor interés y provecho puesto que todos estos temas presentan alguna repercusión o aplicabilidad en el entorno en el que se realizaron y pretenden, modestamente hacer algún aporte que contribuya a la generación de conocimiento para el logro de un desarrollo sostenible y armónico con el medio ambiente.

ARTÍCULOS

P A P E R S

Diver. Insec conucos agrofores en amazonas

Insect diversity in agroforestral conucos at Coromoto de Cuao indigenous community, Amazonas state, Venezuela

Fraternidad Hernández* y Armando Briceño*

Recibido: 22-07-2011

Aceptado: 14-05-2013

Resumen

Se suministra un reporte preliminar sobre la diversidad de insectos en los diferentes cultivos agroforestales de uso común por la población indígena Coromoto de Cuao, en el Amazonas Venezolano. Se realizó un reconocimiento y ubicación de 4 parcelas o conucos activos, así como un inventario de especies agroforestales cultivadas, seleccionando las más importantes para los indígenas. Los insectos fueron capturados usando malleo, trampas de agua y pit-fall, colocándolos en frascos de vidrio con tapas, conteniendo alcohol al 70%, etiquetados y trasladados al Laboratorio de Entomología, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales - Universidad de Los Andes, determinándose los órdenes y familias, con el número de individuos en cada uno de ellos; se calculó la diversidad de taxa y la abundancia a través de los índices de diversidad de [Shannon-Weaver](#) y el inverso de Simpson (DSp). El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico SAS®. Los órdenes con mayor abundancia fueron *Diptera*, 812 individuos, siendo la familia *Chloropidae* la más abundante, con 769 individuos; e *Hymenoptera*, con 721 individuos, siendo la familia más abundante *Formicidae*, con 590 individuos. En la primera visita (período seco), el total de insectos fue 1221 y en la segunda visita (período húmedo), 891.

Palabras clave: insectos, diversidad, cultivos agroforestales, Amazonas, Venezuela.

Abstract

A preliminary report on the diversity of insects in different agroforestry commonly used by the indigenous population of Cuao Coromoto in the Venezuelan Amazon is supplied. Recognition and location of 4 plots or conucos assets and inventory of cultivated agroforestry species was

* Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida, Venezuela. Correo E: hernanfr@ula.ve y abriceno@ula.ve.

performed, selecting the most important for the natives. The insects were captured using malleo, water traps and pit-fall, standing in glass jars with lids, containing 70% alcohol, labeled and transported to the Laboratory of Entomology, Faculty of Forestry and Environmental Sciences - University of Los Andes, determining the orders and families with the number of individuals in each; diversity and abundance of taxa was calculated by diversity indices of Shannon-Weaver and Simpson reverse (DSP). Data analysis was performed with the SAS statistical program. The orders were more abundant *Diptera*, 812 individuals, being the most abundant family *Chloropidae*, with 769 individuals; and *Hymenoptera*, with 721 individuals, the most abundant family *Formicidae*, with 590 individuals. In the first visit (dry period), the total insect were 1221 and the second visit (wet period), 891.

Key words: insects, diversity, agroforestry, Amazonas, Venezuela.

Introducción

Así como sabemos que existe una gran diversidad de insectos en el mundo, son pocos los antecedentes de los insectos que se encuentran en el Amazonas Venezolano, se observa que en este ecosistema existe un gran número de especies de plantas, lo que nos hace pensar que el número de insectos también será alto, así como lo menciona Flores (2010), se estiman más de 150.000 especies insectiles, en el Amazonas venezolano. En Amazonas es poco lo que se ha realizado en el campo de la entomología, por esta razón lo que se conoce con relación a las plagas que atacan a los cultivos y la relación que tienen éstas con el crecimiento y producción de dichos cultivos, es insuficiente (Delgado, 2000; Sánchez, 2001; Villarreal, 2002). Actualmente, en Venezuela se le está dando gran importancia y se están tomando en cuenta las comunidades indígenas, y parte del objetivo de este trabajo es contribuir a mejorar la calidad de vida aportando soluciones de fitosanidad. Con este trabajo se hará un estudio preliminar sobre la diversidad de insectos que afectan los cultivos agroforestales en la Comunidad Indígena Coromoto de Cuao, se pretende realizar un reporte sobre la diversidad entomológica en los principales cultivos y, a través de la información obtenida se pueda contribuir con una mejor y más efectiva producción agroforestal de los indígenas, así como abrir el camino a futuras investigaciones que puedan continuar con el mejoramiento e incremento productivo, en dicha zona. (Hernández *et al*, 2006).

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la comunidad Piaroa adyacente al río Cua, Coromoto de Cua, la cual se encuentra delimitada por los meridianos $67^{\circ} 35'$ y $67^{\circ} 45'$ de longitud Oeste y los paralelos $4^{\circ} 55'$ y $5^{\circ} 05'$ de latitud Norte, perteneciendo desde el punto de vista de su ubicación administrativa, al municipio Autana del estado Amazonas (figura 1), (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables - Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (MARNR - ORSTOM), 1983 citado por Sánchez, 2001).

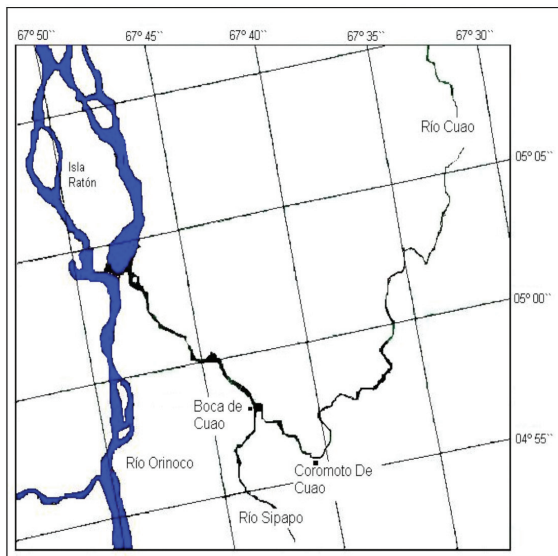


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio, Coromoto de Cua, municipio Autana, estado Amazonas, Venezuela

Fuente: Sánchez 2001.

Clima: Por su latitud ecuatorial, el clima se halla sometido a los efectos de la convergencia intertropical, caracterizado por el movimiento de las grandes masas de aire cargadas de humedad que ocasionan altas precipitaciones, cuya distribución recibe la influencia de los macizos orográficos que inciden en el patrón general de la

circulación atmosférica (Esteves y Dumith, 1997 citado por Sánchez, 2001). Las precipitaciones están alrededor de los 2600 - 2800 mm anuales. El régimen térmico es bastante uniforme, con temperaturas medias anuales superiores a los 26° C, teniendo la altitud un efecto moderador muy pronunciado, como para tener temperaturas en el rango de 21° C - 24° C, como es el caso de Parima, y aún más bajas (10° C) en las cumbres de las altas montañas y tepuyes (Esteves y Dumith, 1997 citado por Sánchez, 2001). Según la clasificación Holdridge pertenece a Bosque Húmedo Tropical.

En algunos sectores con relieve ligeramente plano y pendiente que no excede el 3%, en pequeñas superficies se encuentra glaciares de erosión. Los suelos son de textura arenosa a arena francosa en todo el perfil, excesivamente drenado (Lugo, 2000 citado por Sánchez, 2001).

Vegetación: La mayor cantidad de vegetación existente en el territorio venezolano se encuentra representada en el Estado Amazonas, como se demuestra por la presencia de cuatro provincias fitogeográficas que contienen cuatro biomas y cincuenta y seis tipos de vegetación, de los cuales las formaciones boscosas ocupan el 93,2 % de la superficie de la entidad (Esteves y Dumith, 1997 citado por Sánchez, 2001). Las familias de mayor importancia florística de la zona son: *Arecaceae*, *Mimosaceae*, *Fabaceae*, *Burseraceae*, *Euphorbiaceae*, *Apocynaceae* y *Caesalpiniaceae* (Esteves y Dumith, 1997 citado por Sánchez, 2001).

Hidrografía: Está conformada por un complejo sistema fluvial integrado por grandes ríos, donde el eje principal es el Orinoco, el cual, desde su nacimiento en la Sierra Parima hasta la confluencia en el Meta, tiene una longitud de 940 Km y drena una cuenca de 125.000 Km², algo más del 62% de la superficie de la entidad. El área de estudio está conformada principalmente por el río Cuao, con un volumen escurrido medio anual de 6.519 millones de m³ (Esteves y Dumith, 1997 citado por Sánchez, 2001).

Selección de los sitios

Conucos seleccionados: Se tuvo la oportunidad de recorrer cuatro conucos, sus dueños son habitantes de la comunidad indígena Coromoto de Cuao, nos invitaron a visitarlos con el objeto de diagnosticar los insectos plagas presentes en dichos cultivos. Entre los conucos que visitamos está el del Sr. Roberto Peña, (conuco 1) ubicado a unos 10 km de la comunidad, a orillas del río Cuao, su acceso es a través del bosque natural poco intervenido y por el río, usando lancha. Este primer conuco estaba cubierto por un lote grande de yuca (*M. esculenta*) y frutales intercalados, como el guamo (*I. edulis*), copoazú (*T. grandiflorum*), pijiguao (*B. gasipaes*) y cocura (*P. cecropiifolia*).

El conuco del Sr. Moisés Torres, (conuco 2) ubicado aproximadamente a 5 km de la aldea, se encuentra bien profundo en la selva, cerca de un caño con agua estancada y predomina también la yuca (*M. esculenta*) como rubro principal, con guamo (*I. edulis*), temare (*P. caimito*) y cocura (*P. cecropiifolia*). El tercer conuco del Sr. Alfonso Chipinare, (conuco 3) también presenta la yuca (*M. esculenta*), con guamo (*I. edulis*), principalmente. Y el último conuco del Sr. Gabriel Bolívar, (conuco 4) muy cerca de la comunidad, apenas a 1 km, tenía también como principal cultivo la yuca (*M. esculenta*) y pijiguao (*B. gasipaes*) con guamo (*I. edulis*) entre este cultivo. Los cuatro conucos presentan dimensiones similares que se encuentran entre 1,5 a 2 ha.

Trabajo de campo

Para el muestreo de la entomofauna asociada a los cuatro conucos seleccionados, se hicieron dos visitas a cada conuco. La primera se realizó en el mes de febrero, época de sequía para la zona; la segunda, a finales de julio y principio de agosto, meses caracterizados por intensas lluvias e inundaciones. Se hizo un reconocimiento y ubicación de 4 parcelas o conucos activos, en la primera visita, dejándolas demarcadas para la segunda. Para la captura de los insectos se aplicaron tres métodos de muestreo:

Método 1. Malleo: se seleccionaron al azar diferentes puntos en el conuco, donde se hicieron cinco golpes de malleos, capturando diferentes insectos, en el centro del área seleccionada.

Método 2. Trampas de agua: para éste se utilizaron recipientes redondos con paredes verticales (tipo torteras), pintadas de amarillo, con agujeros en la parte superior, en ambos lados (para drenar el agua en caso de lluvias), esta trampa contenía agua, sal y detergente, colocados en sitios estratégicos (centro y lado derecho) del sembradío. En cada conuco se colocaron tres trampas de agua y se evaluaron a las 24 horas, el contenido encontrado en la trampa se vaciaba en un colador y los insectos colectados se preservaban en alcohol al 70%.

Método 3. Tres trampas pit-fall o de caída en un hueco, estas se colocaron a lo largo de la transecta y al ras del suelo, cada tres metros entre ellas, recipientes cilíndricos, boca ancha (tipo pote aceitero), en cuyo interior se colocó alcohol al 70%, revisándose a las 24 horas, colectando el material capturado, renovándose el alcohol, para las próximas 24 horas. Todas las colectas se hicieron temprano en la mañana.

Los insectos (inmaduros y adultos), capturados en trampas de agua y pit-fall, se colocaron en frascos de vidrio (tipo compotas) con tapa, conteniendo alcohol al 70%. Y los adultos capturados con el malleo, se introdujeron en frascos de vidrio, boca ancha que contenía en el fondo y separados por un cartón, algodones impregnados con acetato de etilo. Luego todo el material fue etiquetado con los siguientes datos: ubicación geográfica, fecha, tipo de trampa y colectores. Los frascos con insectos provenientes de cada tipo de trampa fueron empaquetados ordenadamente y trasladados al laboratorio, para su procesamiento y análisis.

Trabajo de laboratorio

En el laboratorio se determinó y cuantificó el número de individuos por orden y familia, para luego calcular la abundancia relativa de cada taxón, la riqueza a nivel de orden y familia y así estimar la diversidad de esta comunidad, en cada sitio (Segnini,

1995). Cabe destacar que los insectos colectados se trasladaron al laboratorio de entomología del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales (IIAP), en el sector Santa Rosa, donde se montaron y arreglaron por orden y familia en una caja entomológica de 1 a 5 individuos por familia, para facilitar su identificación y el resto de ejemplares se guardaron en frascos, preservados con alcohol al 70%.

Para el análisis de los datos totales, por conucos y visitas, y calcular la abundancia de las distintas taxa (órdenes y familias) de insectos encontrados, se hizo una base de datos en Excel® para aplicar los programas estadísticos SAS® y el programa informático en línea con los cuales se calculó la abundancia y los índices de diversidad de Shannon-Weaver y el Inverso de Simpson (D_{Sp}). (Pérez y López, 1993).

Resultados y discusión

Resultados generales

La tabla 1 nos indica los totales de insectos capturados para cada visita, con 1.221 y 891 individuos colectados en la visita 1 y 2, respectivamente. Si se observa la jerarquía obtenida, tanto para la primera como para la segunda visita, los conucos se arreglan de la misma forma, es decir, en primer lugar el conuco 2 con la mayor cantidad de individuos capturados; en segundo lugar el conuco 4, seguido por el conuco 3 y por último, el conuco 1 con la menor cantidad de insectos recolectados en las dos visitas. También se observa en la segunda visita, que en los conucos 1 y 2 la cantidad de insectos colectados es mucho menor que los de la primera visita, pero los conucos 3 y 4 en esa segunda visita tienen un ligero aumento de insectos capturados.

Tabla 1. Número total de insectos capturados en cada conuco en las dos visitas realizadas a la comunidad de Coromoto de Cuao, Estado Amazonas

Conuco N°	Visita 1(Período seco)	Visita 2 (Período húmedo)
1	55	42
2	906	558
3	107	110
4	153	181
Total	1221	891

Fuente: Elaboración propia.

En total se recolectaron 8 órdenes: *Coleoptera*, *Diptera*, *Hemiptera*, *Homoptera*, *Hymenoptera*, *Isoptera*, *Lepidoptera* y *Orthoptera*, entre ellos los más representados fueron los *Diptera* con 812 individuos, *Hymenoptera* con 721 individuos, *Isoptera* con un total de 345 individuos y *Orthoptera* con 165 individuos (figura 2). En las dos visitas, de los 8 órdenes encontrados en los conucos, se reconocieron 41 familias, entre las cuales se encuentran como las más abundantes la familia *Chloropidae* (Díptera), con 769 individuos recolectados en la primera visita, *Formicidae* (*Hymenoptera*), con 590 individuos, repartidos en 232 individuos en la primera visita y 358 individuos en la segunda visita, *Termitidae* (*Isoptera*), con 286 individuos recolectados en la segunda visita (figuras 3 y 4).

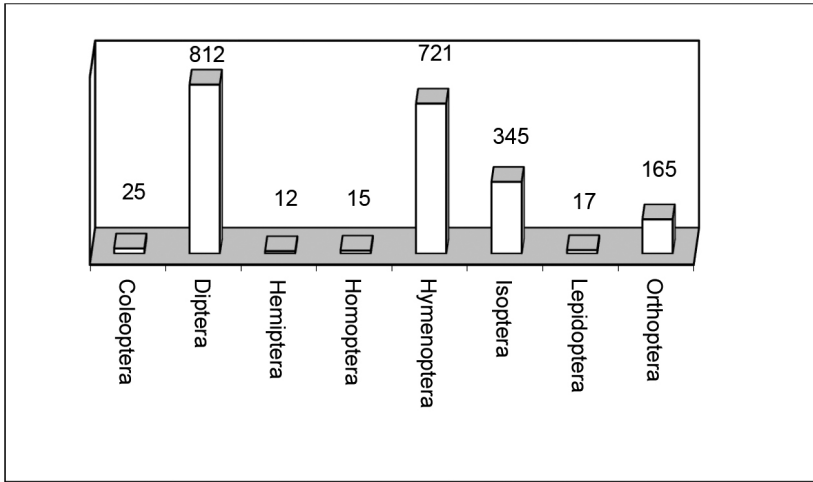


Figura 2. Número total de insectos por órdenes obtenidos en las dos visitas, Coromoto de Cua, estado Amazonas.
Fuente: Elaboración propia.

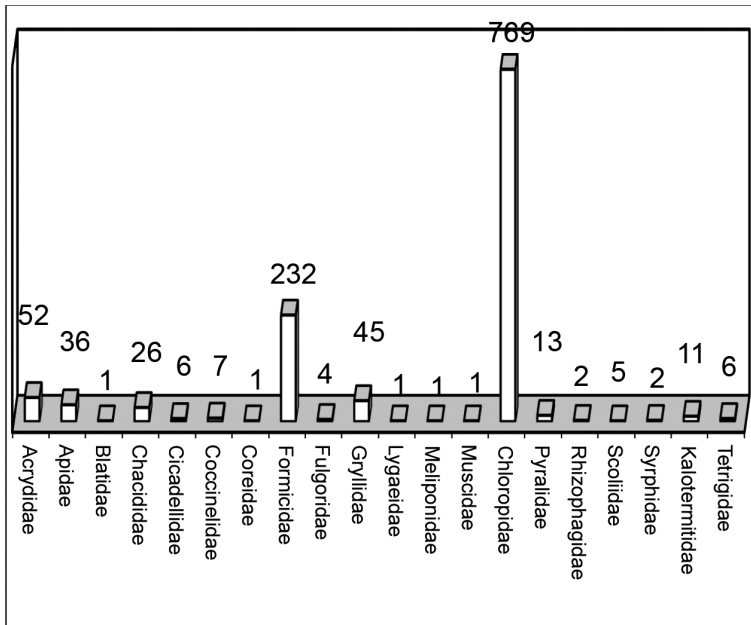
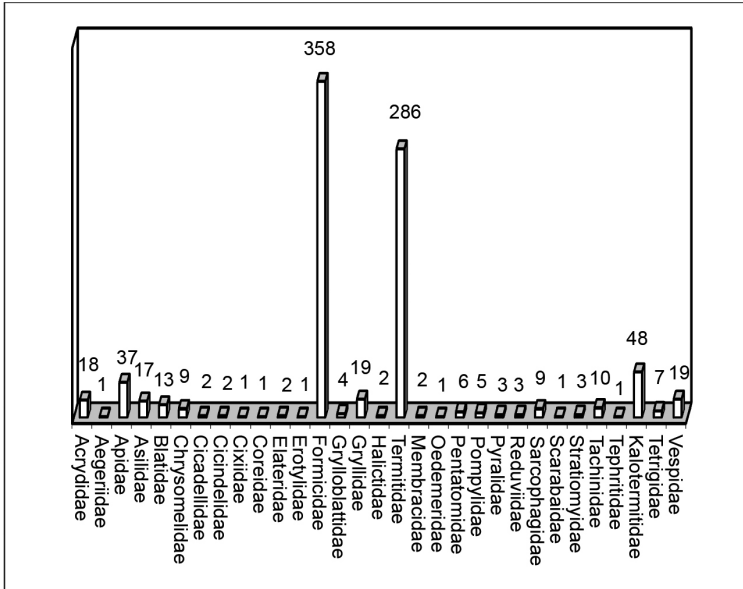


Figura 3. Número total de insectos capturados por familia en la primera visita, Coromoto de Cua, estado Amazonas.
Fuente: Elaboración propia.



Coromoto de Cuao, estado Amazonas

Fuente: Elaboración propia.

En la primera visita se colectó un total de 1.221 individuos, representados en 8 órdenes y 20 familias. Según se evidencia en la tabla 2, para el conuco 1, las familias más representativas fueron: *Acrididae* (*Orthoptera*) con una abundancia de 27,27%; *Pyralidae* (*Lepidoptera*) con 21,82%, *Coccinelidae* (*Coleoptera*) y *Gryllidae* (*Orthoptera*) con 12,73% cada una.

En el conuco 2, las familias que lo representaron son *Chloropidae* (*Diptera*) y *Formicidae* (*Hymenoptera*), con un porcentaje de abundancia de 84,88% y 8,39%, respectivamente. El conuco 3 está representado por las familias *Formicidae* (*Hymenoptera*) y *Chacididae* (*Hymenoptera*), con los porcentajes de 38,32% y 24,30%, respectivamente.

De igual manera, el conuco 4 se encuentra representado casi en su totalidad por la familia *Formicidae* (*Hymenoptera*), con una abundancia del 75,16% seguida por la familia *Acrididae* (*Orthoptera*), con un 10,46%.

Tabla 2. Abundancia absoluta (nº de individuos) y relativa (%) de las familias de insectosencontradas por conuco, en la primera visita. Comunidad Indígena Coromoto de Cuao, estado Amazonas

Conuco	Orden	Familia	Nº ind.	Abundancia (%)
1	Orthoptera	ACRYDIDAE	15	27,27
1	Orthoptera	BLATIDAE	1	1,82
1	Coleoptera	COCCINELIDAE	7	12,73
1	Homoptera	FULGORIDAE	3	5,45
1	Orthoptera	GRYLLIDAE	7	12,73
1	Hemiptera	LYGAEIDAE	1	1,82
1	Hymenoptera	MELIPONIDAE	1	1,82
1	Lepidoptera	PYRALIDAE	12	21,82
1	Isoptera	TERMITIDAE	2	3,64
1	Orthoptera	TETRIGIDAE	6	10,91
2	Orthoptera	ACRYDIDAE	7	0,77
2	Hymenoptera	APIIDAE	36	3,97
2	Diptera	CHLOROPIDAE	769	84,88
2	Hemiptera	COREIDAE	1	0,11
2	Hymenoptera	FORMICIDAE	76	8,39
2	Homoptera	FULGORIDAE	1	0,11
2	Orthoptera	GRYLLIDAE	11	1,21
2	Diptera	MUSCIDAE	1	0,11
2	Lepidoptera	PYRALIDAE	1	0,11
2	Coleoptera	RHIZOPHAGIDAE	1	0,11
2	Diptera	SYRPHIDAE	2	0,22
3	Orthoptera	ACRYDIDAE	14	13,08
3	Hymenoptera	SCOLIIDAE	4	3,74
3	Hymenoptera	CHALCIDIDAE	26	24,30
3	Homoptera	CICADELLIDAE	6	5,61
3	Hymenoptera	FORMICIDAE	41	38,32
3	Orthoptera	GRYLLIDAE	16	14,95
4	Orthoptera	ACRYDIDAE	16	10,46
4	Hymenoptera	FORMICIDAE	115	75,16
4	Orthoptera	GRYLLIDAE	11	7,19
4	Coleoptera	RHIZOPHAGIDAE	1	0,65
4	Hymenoptera	SCOLIIDAE	1	0,65
4	Isoptera	TERMITIDAE	9	5,88
TOTAL	8	20	1.221	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la primera visita, es de hacer notar que ese número tan alto de la familia *Chloropidae* (mosquito lambe ojos), fue debido a que es un insecto que se observa en altas poblaciones en verano, causando mucha molestia en los humanos.

El conuco 1 presentó el mayor índice de diversidad, lo cual

queda claro al observar el resultado de estos conucos con el índice inverso de Simpson ($1/D_{sp}$) (figura 5), donde el valor para el conuco 1 es de 6,401 y para el conuco 3 es de 4,118, indicando que para el conuco 1, 6 familias de 10 poseen la mayoría de los individuos recolectados y para el conuco 3, 4 familias de las 6 existentes presentan mayor número de individuos, lo que no pasa con el conuco 2 donde este mismo índice da valor de 1,372, lo cual indica que sólo una familia es la más representativa en este conuco.

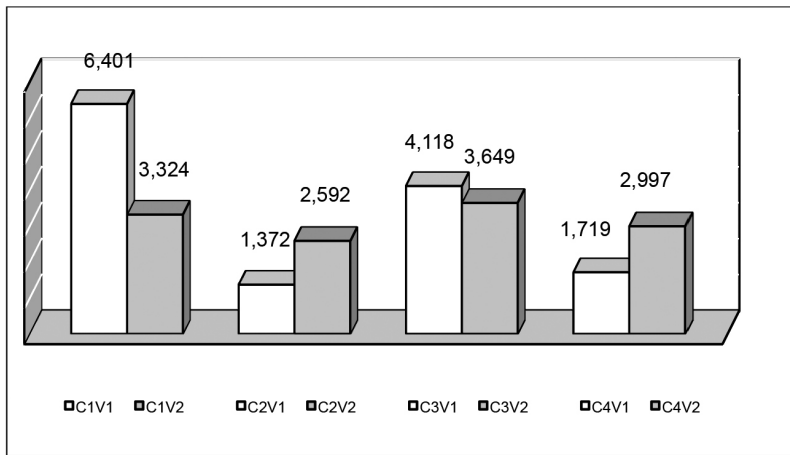


Figura 5. Valores del Índice de diversidad Inverso de Simpson ($1/D_{sp}$), obtenidos para los cuatro conucos estudiados en las dos visitas hechas a la comunidad indígena Coromoto de Cuao, estado Amazonas

Fuente: Elaboración propia.

En la segunda visita se presenta un total de 891 individuos, representados en 8 órdenes, 32 familias (tabla 3). Según se evidencia en esta tabla, el conuco 1 cuenta con una alta representación de la familia *Formicidae* (*Hymenoptera*) con una abundancia de 52,38%, seguido de un 14,29% de la familia *Acrididae* (*Orthoptera*). El conuco 2 está representado por las familias *Termitidae* (*Isoptera*) con una abundancia de 51,25% y la familia *Formicidae* (*Hymenoptera*) con un valor de 34,95%. En el conuco 3 las familias más importantes se encuentran representadas en dos órdenes, *Hymenoptera* se encuentra representado por las familias *Formicidae* y *Apidae* con valores de abundancia de 39,09% y 31,82%, respectivamente, e *Isóptera* representado por la familia *Termitidae* con un valor de

15,45% de abundancia. En el conuco 4 se encontraron como familias más importantes, *Formicidae* (*Hymenoptera*) y *Termitidae* (*Isoptera*) con valores de 54,14% y 17,13% de abundancia respectivamente, seguido por la familia *Vespidae* (*Hymenoptera*), con un valor de 9,94%.

Tabla 3. Abundancia absoluta (nº de individuos) y relativa (%) de las familias de insectos encontradas por conuco, en la primera visita. Comunidad Indígena Coromoto de Cuao, estado Amazonas

Conuco	Orden	FAMILIA	Nº ind.	Abundancia (%)
1	Orthoptera	ACRYDIDAE	6	14,29
1	Coleoptera	CHRYSOMELIDAE	2	4,76
1	Hemiptera	COREIDAE	1	2,38
1	Hymenoptera	FORMICIDAE	22	52,38
1	Orthoptera	GRYLLIDAE	3	7,14
1	Orthoptera	GRYLLOBLATTIDAE	4	9,52
1	Hemiptera	PENTATOMIDAE	3	7,14
1	Hemiptera	REDUVIIDAE	1	2,38
2	Orthoptera	ACRYDIDAE	5	0,90
2	Lepidoptera	AEGERIIDAE	1	0,18
2	Diptera	ASILIDAE	17	3,05
2	Orthoptera	BLATIDAE	8	1,43
2	Coleoptera	CHRYSOMELIDAE	7	1,25
2	Homoptera	CICADELLIDAE	2	0,36
2	Coleoptera	ELATERIDAE	2	0,36
2	Coleoptera	EROTYLIDAE	1	0,18
2	Hymenoptera	FORMICIDAE	195	34,95
2	Orthoptera	GRYLLIDAE	8	1,43
2	Hymenoptera	HALICTIDAE	1	0,18
2	Isoptera	TERMITIDAE	286	51,25
2	Homoptera	MEMBRACIDAE	2	0,36
2	Coleoptera	OEDEMERIDAE	1	0,18
2	Hymenoptera	POMPYLIDAE	5	0,90
2	Lepidoptera	PYRALIDAE	3	0,54
2	Diptera	SARCOPHAGIDAE	9	1,61
2	Diptera	STRATIOMYIDAE	1	0,18
2	Orthoptera	TETRIGIDAE	3	0,54
2	Hymenoptera	VESPIDAE	1	0,18
3	Orthoptera	ACRYDIDAE	1	0,91
3	Hymenoptera	APIDAE	35	31,82
3	Orthoptera	BLATIDAE	4	3,64
3	Hymenoptera	FORMICIDAE	43	39,09
3	Orthoptera	GRYLLIDAE	2	1,82
3	Hemiptera	PENTATOMIDAE	1	0,91
3	Hemiptera	REDUVIIDAE	2	1,82
3	Coleoptera	SCARABAIDAE	1	0,91

Continuación **Tabla 3.** Abundancia absoluta (n° de individuos) y relativa (%) de las familias de insectos encontradas por conuco, en la primera visita. Comunidad Indígena Coromoto de Cuao, estado Amazonas

Conuco	Orden	FAMILIA	N° ind.	Abundancia (%)
3	<i>Diptera</i>	TACHINIDAE	2	1,82
3	<i>Diptera</i>	TEPHRITIDAE	1	0,91
3	<i>Isoptera</i>	KALOTERMITIDAE	17	15,45
3	<i>Orthoptera</i>	TETRIGIDAE	1	0,91
4	<i>Orthoptera</i>	ACRYDIDAE	6	3,31
4	<i>Hymenoptera</i>	APIDAE	2	1,10
4	<i>Orthoptera</i>	BLATIDAE	1	0,55
4	<i>Coleoptera</i>	CICINDELIDAE	2	1,10
4	<i>Homoptera</i>	CIXIIDAE	1	0,55
4	<i>Hymenoptera</i>	FORMICIDAE	98	54,14
4	<i>Orthoptera</i>	GRYLLIDAE	6	3,31
4	<i>Hymenoptera</i>	HALICTIDAE	1	0,55
4	<i>Hemiptera</i>	PENTATOMIDAE	2	1,10
4	<i>Diptera</i>	STRATIOMYIDAE	2	1,10
4	<i>Diptera</i>	TACHINIDAE	8	4,42
4	<i>Isóptera</i>	KALOTERMITIDAE	31	17,13
4	<i>Orthoptera</i>	TETRIGIDAE	3	1,66
4	<i>Hymenoptera</i>	VESPIDAE	18	9,94
Total	8	32	891	100 %

Fuente Propia: Elaboración propia.

En general, para las dos visitas se puede comentar que en la visita 1, se obtuvo una diversidad más pobre ya que se obtuvo un valor de $H' = 1,305$ (tabla 4), siendo la segunda visita la que tiene mayor diversidad ya que posee un valor de 1,848 (tabla 5), esto debido a que la riqueza de familias encontradas en la primera visita fue mucho menor a la riqueza de familias encontradas en la segunda visita que fue de 20 y 31, respectivamente.

Tabla 4. Cálculos para obtener Índice Shannon - Weaver para la primera visita, Coromoto de Cuao, estado Amazonas

FAMILIA	NITO	Pi	LN (Pi)	Pi x LN (Pi)
ACRIDIDAE	52	0,0426	3,1562	0,1344
APIDAE	36	0,0295	3,5239	0,1039
BLATIDAE	1	0,0008	7,1074	0,0058
CHACIDIDAE	26	0,0246	3,7062	0,0911
CHLOROPIDAE	769	0,6298	0,4623	0,2912
CICADELLIDAE	6	0,0049	5,3157	0,0261
COCCINELIDAE	7	0,0057	5,1615	0,0296
COREIDAE	1	0,0008	7,1074	0,0058
FORMICIDAE	232	0,1900	1,6607	0,3155
FULGORIDAE	4	0,0033	5,7211	0,0187
GRYLLIDAE	45	0,0369	3,3008	0,1216
LYGAEIDAE	1	0,0008	7,1074	0,0058
MELIPONIDAE	1	0,0008	7,1074	0,0058
MUSCIDAE	1	0,0008	7,1074	0,0058
PYRALIDAE	13	0,0106	4,5425	0,0484
RHIZOPHAGIDAE	2	0,0016	6,4143	0,0105
SCOLIIDAE	1	0,0008	7,1074	0,0058
SYRPHIDAE	2	0,0016	6,4143	0,0105
TERMITIDAE	11	0,0090	4,7095	0,0424
TETRIGIDAE	6	0,0049	5,3157	0,0261
Índice de Shannon-Wiener				1,3051

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Cálculos para obtener Índice Shannon - Weaver para la segunda visita, Coromoto de Cuao, estado Amazonas

FAMILIA	NITO	Pi	LN (Pi)	Pi x LN (Pi)
ACRIDIDAE	18	0,0202	3,9020	0,0788
AEGERIIDAE	1	0,0011	6,7923	0,0076
APIDAE	37	0,0415	3,1814	0,1321
ASILIDAE	17	0,0191	3,9591	0,0755
BLATIDAE	13	0,0146	4,2274	0,0617
CHRYSOMELIDAE	9	0,0101	4,5951	0,0464
CICADELLIDAE	2	0,0022	6,0992	0,0137
CICINDELIDAE	2	0,0022	6,0992	0,0137
CIXIIDAE	1	0,0011	6,7923	0,0076
COREIDAE	1	0,0011	6,7923	0,0076
ELATERIDAE	2	0,0022	6,0992	0,0137
EROTYLIDAE	1	0,0011	6,7923	0,0076

Fuente: Elaboración propia.

Continuación. **Tabla 5.** Cálculos para obtener Índice Shannon - Weaver para la segunda visita, Coromoto de Cuao, estado Amazonas

FAMILIA	NITO	Pi	LN (Pi)	Pi X LN (Pi)
FORMICIDAE	358	0,4018	0,9118	0,3664
GRYLLIDAE	19	0,0213	3,8479	0,0821
GRYLLOBLATTIDAE	4	0,0045	5,4061	0,0243
HALICTIDAE	2	0,0022	6,0992	0,0137
TERMITIDAE	286	0,3210	1,1364	0,3648
MEMBRACIDAE	2	0,0022	6,0992	0,0137
OEDEMERIDAE	1	0,0011	6,7923	0,0076
PENTATOMIDAE	6	0,0067	5,0006	0,0337
POMPYLIDAE	5	0,0056	5,1829	0,0291
PYRALIDAE	3	0,0034	5,6937	0,0192
REDUVIDAE	3	0,0034	5,6937	0,0192
SARCOPHAGIDAE	9	0,0101	4,5951	0,0464
SCARABAIDAE	1	0,0011	6,7923	0,0076
STRATIOMYIDAE	3	0,0034	5,6937	0,0192
TACHINIDAE	10	0,0112	4,4898	0,0504
TEPHRITIDAE	1	0,0011	6,7923	0,0076
KALOTERMITIDAE	48	0,0539	2,9211	0,1574
TETRIGIDAE	7	0,0079	4,8464	0,0381
VESPIDAE	19	0,0213	3,8479	0,0821
<i>ÍNDICE DE SHANNON-WIENER</i>				1,8484

Si comparamos un mismo conuco en las dos visitas realizadas, se observa que el conuco 3 mantiene su diversidad con valores de $H' = 1,546$ para la primera visita y $1,573$ para la segunda visita, los conucos 2 y 4 si poseen valores de diversidad diferentes los cuales aumentan para la segunda visita. Para el conuco 1 el valor de diversidad disminuye en la segunda visita de $H' = 1,951$ a $H' = 1,541$ (figura 6).

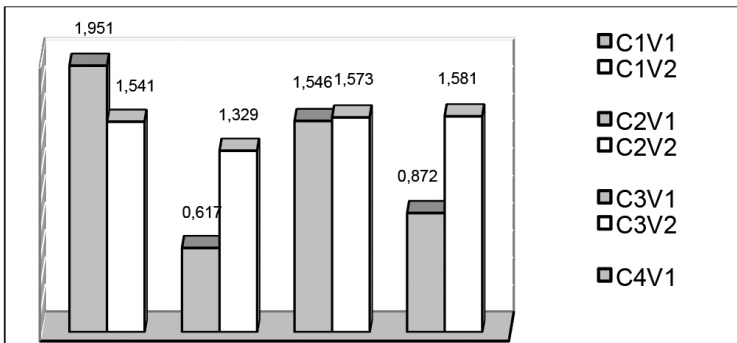


Figura 6. Índice diversidad de Shannon-Weaver, a partir de las familias encontradas por conucos (C) y por visitas (V) en la Comunidad Indígena Coromoto de Cuao, estado Amazonas
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

- En las dos visitas el orden que presentó mayor número de insectos fue *Diptera* con 812 individuos, de los cuales 765 individuos eran de la familia *Chloropidae*, familia que reportó mayor número de individuos. Esto debido a que esta familia se encuentra en las temporadas de sequía en su pico máximo de población de adultos, lo cual causa muchas molestias ya que se introducen en el ojo y pueden causar infecciones.
- En la segunda visita la familia *Formicidae* (*Hymenoptera*), mostró el mayor número de individuos y fue la segunda con mayor número de individuos en la primera visita.
- El mayor número de familias fue registrado en los órdenes *Coleoptera*, *Diptera* e *Hymenoptera*, con 8 cada una.
- En la primera visita el número de individuos fue mucho mayor que en la segunda visita, 1.221 y 891 respectivamente, pero la riqueza de familias fue mucho mayor en la segunda visita (31 familias) que en la primera visita (20 familias).
- En la primera visita el índice de diversidad fue menor que en la segunda visita con valores de índice de diversidad de Shannon-Weaver = 1,3050 y 1,8484 respectivamente.
- El conuco 1 de la primera visita fue el que obtuvo un valor de índice de diversidad Shannon - Weaver (H') máximo con un valor de 1,951, el conuco 2 de la primera visita fue el que obtuvo un valor de H' mínimo, con un valor de 0,617.

Referencias bibliográficas

- DELGADO, L. 2000. *De aruwa (Piaroa). Los señores de la selva. Comunidades indígenas del Sur*. La Colección Cisneros. Caracas. Venezuela. 949p.
- FLORES, D. 2010. *Los países con más biodiversidad del planeta*. Biodiversidad y ecosistemas, Naturaleza. Recuperado de:

www.blogdemedioambiente.com/biodiversidadecosistemas/los-paises-con.

HERNÁNDEZ, F., BRICEÑO, A., & MORENO, R. 2006. Contribución al conocimiento de los insectos en cultivos agroforestales en la comunidad indígena Coromoto de Cuao, estado Amazonas, Venezuela. **Revista Forestal Venezolana**. 50 (1).27-35 pp.

PÉREZ-LÓPEZ, F. 1993: **DIVERS: Programa para el cálculo de los índices de diversidad**. [Programa informático en línea] recuperado de: <http://perso.wanadoo.es/jp-l/descargas.htm>

SÁNCHEZ, D. 2001. *Caracterización autoecológica de siete especies arbóreas usadas por la etnia Piaroa en la amazonia venezolana*. Trabajo de grado para optar por el título de M.Sc. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Mérida, Venezuela. pp: 20 – 27.

SEGNINI, S. 1995. *Medición de la Diversidad de Especies*. En Alonso, M., ed. *La Biodiversidad Neotropical y la amenaza de las extinciones*. Cuadernos de Química Ecológica N° 4. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. 95-118 pp.

VILLAREAL, A. 2002. *Caracterización de los componentes forestales en los sistemas de conucos tradicionales de la etnia Piaroa en tres comunidades del municipio Autana, estado Amazonas*. Trabajo de grado para optar por el título de M.Sc. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Mérida, Venezuela. pp: 32 - 33.

Evaluación espacial del potencial para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del río Monaicito, estado Trujillo, Venezuela

Spatial evaluation of the potentiality of growing coffee (*Coffea arabica*) in Monaicito river basin, Trujillo State, Venezuela.

Juan Liendro*, José Roa** y Lisbeth Segovia***

Recibido: 26-01-2012

Aceptado: 15-07-2013

Resumen

El propósito de esta investigación fue la evaluación del potencial espacial para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del río Monaicito, mediante la utilización de las técnicas de evaluación multicriterio (EMC) y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), para estimar la importancia y determinación de las variables climáticas, topográficas, geológicas y socio-económicas en la aptitud cafetalera del área de estudio, encontrándose que 40,58% (4.925,69 ha) del área analizada posee de *Alto* a *Muy Alto* potencial para el cultivo de la especie, lo que constituye una significativa extensión de superficie con aptitudes para tal fin.

Palabras clave: Evaluación Multicriterio, EMC, Café, río Monaicito, Trujillo, SIG.

Abstract

In this reasearch the spatial potential of growing coffee (*Coffea Arabica*) plantation in the Monaicito river basin was evaluated, using a multicriteria GIS approach platform, to estimate the study of the area's climate, topographical, geographical and social-economical variables weighting on coffee growth, getting as a main conclusion that 40.58% (4,925.69 ha) of the researched area has from high to very high potentiality for growing coffee.

Key words: coffee, Monaicito River, multicriteria evaluation, MCE, geographical information system, GIS.

*Ingeniero Agrícola, Mención Manejo y Conservación de Recursos Naturales, Instructor Docente, Área de Topografía, Universidad de Los Andes, Trujillo - Venezuela. Correo E.: liendroing@gmail.com

**Profesor de la Universidad de Los Andes, Área de Geografía, Grupo GEOCIENCIA, Trujillo-Venezuela. Correo E.: jose_roa@yahoo.com (autor para correspondencia)

***Licenciada en Educación, Mención Geografía y Ciencias de la Tierra, Becario del Plan de Formación Docente en la Universidad de Los Andes, Trujillo - Venezuela. Correo E.: lisbeth.segovia@gmail.com

Introducción

El cultivo de café es una de las principales actividades económicas desarrolladas en las vertientes de las montañas en diversos países de América tropical como Brasil, Colombia, Costa Rica, generando importantes ingresos y representando un significativo producto de exportación. El fruto de este arbusto, originario de Etiopía y Sudan, fue introducido a América por los conquistadores Europeos y a pesar de no ser un producto alimenticio, constituye hoy día una de las bebidas estimulantes más populares del mundo (Hoyos, 1994).

En Venezuela, el café es cultivado a partir de los 250 msnm en zonas medias y altas de La Cordillera de la Costa y en la región de los Andes, donde la producción bajo sombra, caracterizada por la asociación con especies arbóreas leguminosas como Bucares (*Erythrina* sp) o Guamos (*Inga* sp), entre otras, es una de las modalidades más difundidas (Hoyos, 1994). Este modo de cultivar el café, representa una práctica agrícola de carácter conservacionista que contribuye notablemente a la disminución de la degradación ambiental en las cuencas hidrográficas, especialmente en lo concerniente a los recursos de suelo y agua.

Históricamente el cultivo del café ha sido uno de los pilares socioeconómicos del estado Trujillo y rubro importante dentro de la producción agrícola nacional, tal como lo señala las cifras reportadas por el VII censo agrícola venezolano (Ministerio Poder Popular para la Agricultura y Tierras, MPPAT, 2010) (Anexo1), donde Trujillo se ubica en el tercer lugar por entidades, con una producción de 6.344 TM representando casi el 10% de la producción nacional (Anexo 2). Los piedemontes llaneros y lacustres hasta los 2000 msnm han sido las áreas geográficas cafetaleras en Trujillo, sin embargo, en las últimas décadas este uso ha cambiado hacia otros rubros debido diferentes factores económicos, en detrimento del café (Martínez, 2012), de allí que la producción trujillana de café luego de representar el 20 % de la producción nacional con más de 13.000 TM en 1992, cae a la mitad en el 2008. Una mejor descripción del declive de la producción de café aquí señalado puede consultarse en el anexo 3.

La situación que exhibe la microcuenca del río Monaicito en

el estado Trujillo refleja el mismo proceso, la caficultura, principal actividad económica de la zona, en los últimos años se ha visto impactada negativamente por diversos factores, mostrando un rápido proceso de deterioro, lo que a futuro puede acarrear una disminución en la calidad de vida de los campesinos tras verse afectados sus ingresos (Becerra *et al.*, 2006).

Hasta el momento no ha sido posible implementar un cultivo que sustituya con ventajas al cafeto, en lo que respecta a la conservación de los suelos en laderas de montañas con relieve abrupto; sin embargo, en la microcuenca del río Monaicito los productores han reducido el área cafetalera, abandonando las unidades de producción, aumentado la diversificación de cultivos e implantado nuevos cultivos sin valorar, antes, el potencial del territorio para esos usos (Arellano *et al.*, 2008). Esta situación ha traído como consecuencia un deterioro progresivo de las condiciones ambientales de la microcuenca, disminuyendo su capacidad para producir agua en cantidad y calidad, y alterando de manera perjudicial el potencial productivo de los suelos.

En virtud de lo antes expuesto surgen algunas interrogantes a las cuales el presente trabajo de investigación intenta proporcionar respuestas: ¿posee la microcuenca del río Monaicito la aptitud o el potencial necesario para sustentar el desarrollo de plantaciones de café (*Coffea arabica*) en su territorio?; ¿cuál es el grado o nivel de aptitud que presenta el territorio de la microcuenca del río Monaicito para el cultivo de café?; ¿cómo es la distribución espacial de los diferentes grados o niveles de aptitud para el cultivo de café en el territorio de la microcuenca del río Monaicito?

Objetivo general

Evaluar el potencial para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del río Monaicito, estado Trujillo - Venezuela, mediante el uso de la Evaluación Multicriterio (EMC) y Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Objetivos específicos

- Estimar el grado de aptitud que presenta el área y sus variables

espaciales de la microcuenca del río Monaicito para el cultivo de café.

- Producir un mapa final que describa la distribución espacial de los diferentes grados de aptitud para el cultivo de café en el territorio de la microcuenca del río Monaicito.

Materiales y métodos

La base metodológica para el desarrollo de esta investigación fue la integración de la evaluación multicriterio (EMC) bajo un sistema de información geográfica (SIG), entendiéndose la EMC como un conjunto de procedimientos que sustentan su funcionamiento en la evaluación de una serie de alternativas basándose en una serie de criterios y objetivos en pugna; y a los SIG como un sistema de información con capacidad de gestionar, almacenar, representar y analizar datos espaciales. Ambas herramientas están dirigidas a asistir y brindar apoyo en los procesos de toma de decisiones, en especial para la asignación-localización de actividades (Barredo, 1996).

La fase metodológica de la investigación se divide en cuatro etapas: 1) la delimitación del área de estudio, 2) la selección de las variables espaciales asociadas al cultivo del café, 3) el establecimiento de la base de datos y 4) la EMC propiamente dicha. Toda la información utilizada y generada fue procesada, editada, clasificada, normalizada y combinada, mediante el uso de ArcGIS 9.2 (ESRI, 2006), empleando el modelo de datos espaciales raster con celdas de 20 metros de resolución horizontal.

Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica dentro de la microcuenca del río Monaicito, en los municipios Candelaria y Pampán del estado Trujillo, Venezuela. Esta microcuenca forma parte de la subcuenca del río Carache, perteneciente a la cuenca del río Motatán, hoya hidrográfica del Lago de Maracaibo. El territorio seleccionado se localiza entre las latitudes 9°25'41"N - 9°34'50"N y entre las longitudes 70°19'48"O - 70°27'13"O. Ocupa una superficie

aproximada de 12.137,69 hectáreas y el rango de altitud varía desde los 260 hasta los 2.100 msnm. La figura 1 muestra la localización del área de estudio.

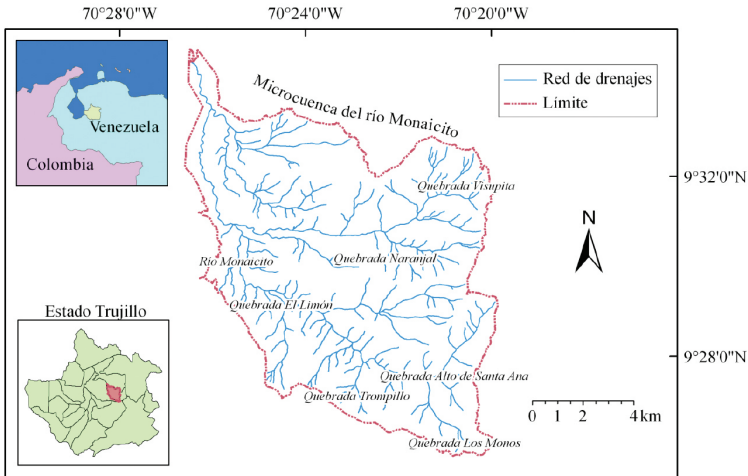


Figura 1. Localización del área de estudio, situación relativa nacional y regional.
Fuente: Elaboración propia.

Selección de las variables espaciales asociadas

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionaron variables y parámetros espaciales con base a la disponibilidad de esta información y en virtud de la importancia que revisten para el desarrollo del cultivo de café; tanto desde el punto de vista de la ecología de la planta, como de los factores sociales y económicos que afectan la producción cafetalera. La tabla 1 describe las variables y parámetros espaciales seleccionados del área de estudio.

Tabla 1. Variables y parámetros espaciales asociados al cultivo del café

Variables	Parámetros
CLIMÁTICAS	PRECIPITACIÓN
	TEMPERATURA
TOPOGRÁFICAS	ALTITUD
	PENDIENTE
	RUGOSIDAD DEL RELIEVE
GEOLOGICAS	LITOLIGIA
SOCIO ECONÓMICAS	PROXIMIDAD A VÍAS
	PROXIMIDAD A CENTROS POBLADOS

Fuente: Elaboración propia.

Si bien los parámetros climáticos y topográficos son fácil y directamente asociados al potencial de cualquier área a acoger un cultivo, las variables geológicas y socioeconómicas deben ser explicadas, por ejemplo, el parámetro litología se utiliza en este trabajo para inferir sobre algunas propiedades edáficas de los suelos existentes en el área de estudio, en virtud de la poca información pedológica y/o edafológica detallada y disponible al respecto. Se asume aquí, que estas unidades litológicas representan el material parental por medio del cual se han formado los suelos y/o perfiles superiores de la zona estudiada, y que este material parental es responsable directo de que los suelos difieran en ciertas características físicas y químicas.

Es necesario también apuntar, que aspectos socio-económicos como la comercialización del producto, la adquisición de insumos agrícolas, el procesamiento del grano, la disponibilidad de mano de obra para la cosecha, entre otros, concernientes al desarrollo de la producción cafetalera son afectados de manera notable por la distancia a las vías asfaltadas y a los centros poblados, razones que motivaron la inclusión de estos parámetros en el análisis.

Base de datos - Construcción de las capas temáticas

A partir de datos climáticos obtenidos de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPPA, 2008) fueron construidos los mapas de distribución de precipitación y temperatura en el área de estudio. La capa de precipitación fue elaborada mediante el proceso de interpolación tipo *Kriging* de los valores promedios anuales de precipitación (milímetros) calculados a partir de datos registrados durante un período de 10 años (1998-2008) en seis estaciones meteorológicas presentes y aledañas al área de estudio (ejemplo: Guamas de Monay, Carache, Pampán, Santa Ana, Trujillo-Liceo y El Jarillo).

Debido a la ausencia de registros de temperatura en las estaciones descritas, la capa de distribución de temperaturas medias anuales se generó a través de un proceso de interpolación lineal usando el gradiente altotérmico $0,57^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ propuesto por Trezza

(1997) a partir de un estimado de estaciones meteorológicas del estado Trujillo. La estimación de los valores promedios anuales de temperatura (°C) en el área de estudio se logró a partir de los datos de la estación climatológica del aeropuerto de Valera, medidos durante un período de 10 años (1995-2005). Posteriormente, y usando el gradiente altotérmico, se calculó el patrón térmico del área de estudio con base a su modelo digital de elevaciones (MDE). Estas dos capas temáticas generadas representan una estimación de los valores promedios anuales de precipitación y temperatura en el territorio estudiado.

Las capas temáticas topográficas (rangos altitudinales, pendientes, rugosidad del relieve), se crearon a partir de la digitalización de los mapas topográficos con curvas de nivel cada 20 metros, de la zona de estudio y obtenidos de la Dirección de Cartografía Nacional (DCN, 1979). El SIG utilizado generó un modelo digital de elevación (MDE) obtenido de la interpolación de las curvas digitalizadas a través de una red de triángulos irregulares (TIN) con lo cual se crearon las capas de rangos de altitud (en metros sobre el nivel del mar) y de pendiente (expresada en grados). La capa de rugosidad del relieve (en m) se obtuvo mediante la aplicación de procesos de *estadística de vecindario* al MDE (determinación de máximos y mínimos valores en el vecindario). Estas capas topográficas constituyen una representación de la morfología que exhibe el área de estudio.

Seguidamente, mediante la edición de información obtenida del mapa geológico-estructural de Venezuela (Bellizia *et al*, 1976) y de datos litológicos aportados por el Código Estratigráfico de Cuencas Petroleras de Venezuela de Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima y el Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (PDVSA-INTEVEP, 2011), se construyó la capa temática de la variable geología, la cual es una representación de las particularidades litológicas de las diferentes unidades geológicas existentes en el área de estudio: Colón (Kc), Aguardiente (Kn), La Quinta (Jq), Mucuchachí (Pcm), Betijoque-Vichu (Tmrbv), Carvajal (Qpt), Peñas Altas (Kpa) y Sedimentos Aluviales (Qal).

Finalmente, y haciendo uso de información cartográfica obtenida de los Dossiers Municipales de la Corporación de Los

Andes (CORPOANDES, 2009) inherentes a la zona de estudio, fueron elaboradas las capas temáticas socio-económicas (proximidad a vías pavimentadas y proximidad a centros poblados). Estas capas se crearon mediante la edición de mapas viales y de localización de los principales poblados presentes y cercanos a la zona de estudio (Santa Ana, Monay, Flor de Patria, Pampán, Torococo, Bolivia y Chejendé), además de las principales ciudades del estado Trujillo (Valera, Boconó y Trujillo capital), empleándose los respectivos procedimientos de análisis de distancia desde las vías asfaltadas y desde los centros poblados, disponibles en el SIG.

Evaluación Multicriterio (EMC)

En este estudio el proceso de EMC siguió las etapas de: estandarización de las capas temáticas, asignación de pesos a los criterios y combinación de las capas temáticas normalizadas.

Normalización de las capas temáticas

Los valores que presentan las diversas capas temáticas generadas en este estudio tienen desiguales significados y unidades de medida. Esta situación trajo como consecuencia que los valores de dichas capas se estandarizaran a una misma unidad de medida para lograr su posterior combinación. En este sentido, se asumió una escala continua de valores entre 0 y 1 para la estandarización de las capas temáticas, donde 0 representa la más baja potencialidad para el cultivo de café y 1 la más alta potencialidad. En este trabajo todas las capas temáticas (a excepción de litología) fueron estandarizadas utilizando el método del valor máximo, el cual consiste en dividir los valores de cada capa por su máximo valor a encontrar (Roa, 2006, 2007). De esta manera, se normalizaron las capas de pendiente, rugosidad del relieve, proximidad a vías pavimentadas y proximidad a centros poblados, con la particularidad que en estas últimas cuatro capas, cuanto mayor son los valores que exhiben, menor es su capacidad para el cultivo de café y viceversa, por lo que se invirtieron los valores obtenidos a través del método para cumplir con los criterios establecidos.

En el caso de las capas de precipitación, temperatura y altitud, además del uso del método del valor máximo fue necesario tomar en cuenta las exigencias ecológicas de la especie estudiada. Al respecto, Hoyos (1994), señala que el café de gran calidad se produce en lugares donde la precipitación media anual varía de 500 a 1500 mm, repartidos de manera uniforme durante el año, y donde la temperatura media anual oscila entre los 16 y 23 °C; en el caso específico de la especie ***C. arabica***, ésta se desarrolla en pisos altitudinales medios, preferiblemente de 600 a 1700 msnm. Tomando en consideración estos rangos óptimos para el crecimiento y desarrollo de la planta, se aplicó el método del valor máximo desde el valor más bajo de cada capa hasta el valor medio del rango óptimo, donde ocurre la más alta potencialidad para el cultivo, e invirtiendo en el tramo desde este valor medio hasta el valor más alto de cada capa, el índice de potencialidad.

La normalización de la capa de litología se realizó tomando en consideración los requerimientos edáficos del cultivo de café, el cual demanda de suelos francos o franco-arcillosos y abundantes en materia orgánica (Hoyos, 1994). Bajo esta premisa, se efectuó la asignación de valores a cada unidad litológica en virtud de la aptitud que muestran para el cultivo de café, asignando pesos tendentes a 1 (o de alta potencialidad) a las unidades litológicas conformadas fundamentalmente por componentes arcillosos (texturas finas), abundantes en carbono y de mayor diversidad mineral benéfica para el cultivo, y valores tendentes a 0 (o de baja potencialidad) para aquellas formaciones constituidas principalmente de elementos arenosos o de tamaño mayor (texturas gruesas), con baja presencia de carbono y poca diversidad de elementos minerales beneficiosos para la planta. La figura 2 muestra las capas temáticas generadas y normalizadas en esta investigación, y el anexo 4 describe las unidades litológicas, sus texturas edáficas asociadas y pesos asignados.

Asignación de pesos a los criterios

En esta investigación se utilizó el Método de las Jerarquías Analíticas (MJA) desarrollado por Saaty (citado por Barredo, 1996) y aplicado por Segovia y Roa (2011) para la asignación de pesos a

los criterios. Este procedimiento consiste en la construcción de una matriz, en la que la cantidad de columnas y filas depende del número de criterios a ponderar, conformándose una matriz de cotejo entre pares de criterios, comparando la relevancia de uno sobre cada uno de los otros, para posteriormente mediante operaciones matemáticas simples establecer el peso de cada criterio. Los pares de criterios se ponderaron usando una escala de medida implementada por Roa (2006, 2007) donde cada parámetro concede una calificación entre 1 y 4 dependiendo del nivel de importancia concedido por el investigador a la relación de pares estudiados. En la tabla 2 puede observarse la escala de medida descrita, así como la matriz de jerarquización analítica (tabla 3).

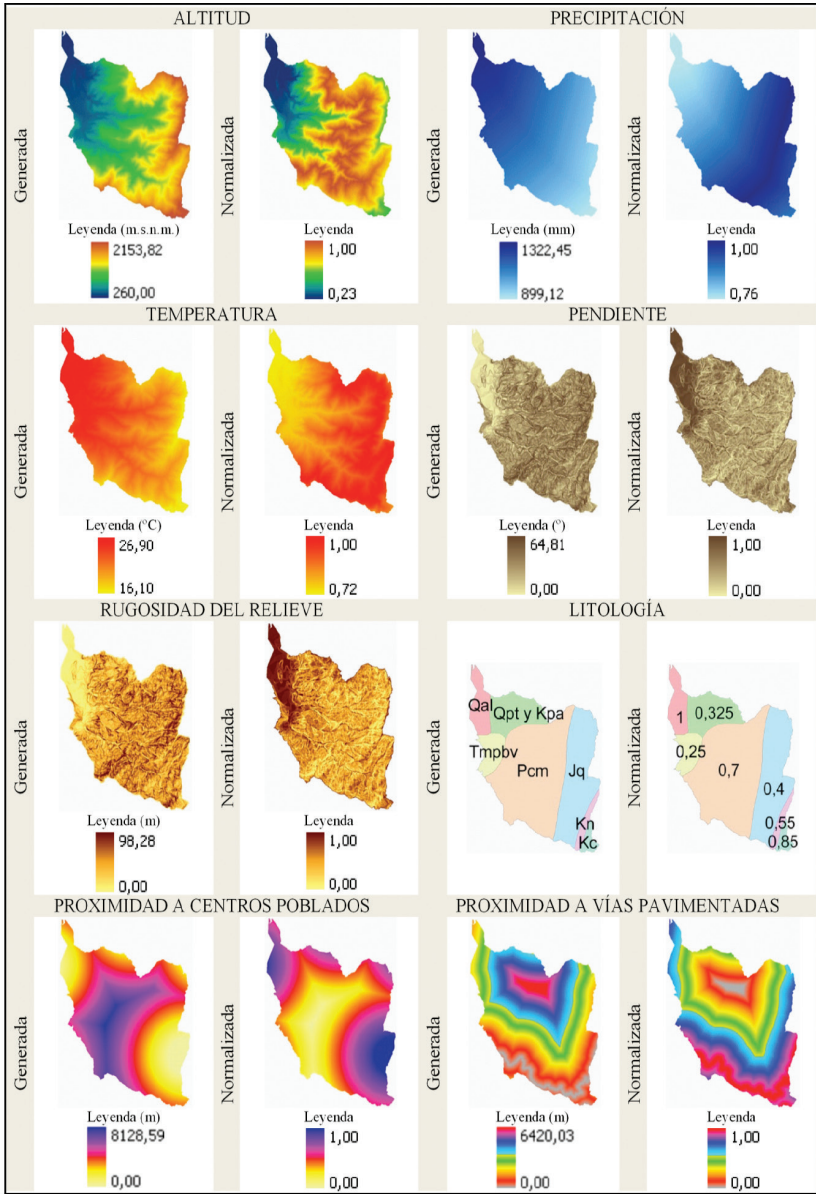


Figura 2. Capas temáticas generadas y normalizadas (en color en la versión digital de este artículo).

Fuente: Las capas relativas a altitud, temperatura, relieve y pendiente fueron procesadas a partir de datos de elevación SRTM (UNITED STATE GEOLOGICAL SERVICE (USGS), 2006), la capa de litología está basada en el mapa geológico de Venezuela (BELLIZIA, et. al., 1976). Las capas de vitalidad, centros poblados y precipitaciones están basadas en datos del Dossier del Municipio Pampán (CORPOANDES, 2009). Los datos primarios fueron procesados bajo ArcGIS 9.2 (ESRI, 2006).

Tabla 2. Escala de medida utilizada para la ponderación de los pares de concordancia de los criterios.

Nivel de Importancia	Definición	Descripción
1	Igual primacía	Ambos criterios (x, j) favorecen de igual forma el cultivo de café
2	Moderada primacía	Anteriores experiencias benefician levemente al criterio (X) sobre el otro (j).
3	Fuerte primacía	Prácticamente la preferencia del criterio (x) sobre el otro (j) está demostrada.
4	Absoluta primacía	Existen pruebas que establecen la superioridad del criterio (x).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Asignación de pesos a los criterios mediante el MJA.

Matriz de Jerarquización Analítica (j)	Altitud	Precipitación	Temperatura	Pendiente	Rugosidad del relieve	Litología	Proximidad a centros poblados	Proximidad a vías pavimentadas	$\Sigma x_j/n$	Peso relativo ($\Sigma x_j/n / \Sigma \Sigma x_j$)	
Altitud (x)	1	2	2	3	3	4	4	4	2,88	0,22	
Precipitación	1/2	1	2	3	3	4	4	4	2,69	0,21	
Temperatura	1/2	1/2	1	3	3	4	4	4	2,50	0,19	
Pendiente	1/3	1/3	1/3	1	2	3	3	3	1,63	0,13	
Rugosidad del relieve	1/3	1/3	1/3	1/2	1	3	3	3	1,44	0,11	
Litología	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1	2	2	0,80	0,06	
Proximidad a centros poblados	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	0,61	0,05	
Proximidad a vías pavimentadas	1/4	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	0,43	0,03	
									Σx_j	12,97	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Integración de las capas temáticas normalizadas y compensadas

Una vez estandarizadas las capas temáticas y asignado el peso respectivo a cada criterio calculado mediante el MJA (tabla 2), se procedió a la combinación de las capas normalizadas. Para ello, se uso el método de EMC denominado Sumatoria Lineal Ponderada

(SLP) como mecanismo de integración, la cual es una técnica compensatoria-aditiva, en la que es necesario que se definan los pesos de los criterios como funciones de primacía y donde el valor de cada alternativa es el resultado de multiplicar cada capa temática por el peso relativo del criterio. La SLP integra las alternativas, desde la de mayor aptitud a la de menor aptitud (Barredo, 1996). La ecuación derivada de la aplicación de la SLP es (Eq 1):

$\text{Potencialidad} = 0,22(\text{Altitud}) + 0,21(\text{Precipitación}) + 0,19(\text{Temperatura}) + 0,13(\text{Pendiente}) + 0,11(\text{Rugosidad del relieve}) + 0,06(\text{litología}) + 0,05(\text{Proximidad a centros poblados}) + 0,03(\text{Proximidad a vías pavimentadas})$	(Eq.1)
---	---------------

Combinadas las capas normalizadas mediante la ecuación antes descrita se generó una nueva capa que vendría a ser el mapa de potencialidad para el cultivo de café en la microcuenca del río Monaicito. Este mapa expresa esta potencialidad en una escala comprendida entre 0 (menor potencial) y 1 (mayor potencial), la cual se reclasificó en una escala de cinco niveles acorde a los objetivos iniciales de este proyecto y para brindar a los beneficiarios últimos de esta cartografía (entes gubernamentales, agricultores, institutos, empresas, etc.), una mayor sencillez en la lectura de los mapas. En tal sentido, se aplicó el método de clasificación *Quantile* sobre el histograma de frecuencias del mapa de potencialidad (para una mayor explicación del método de *Quantile* se recomienda consultar:

http://gis.otg.gobierno.pr/OGP/ArcTrain_1/Lecturas/TutorialPartell_LecturasOct06_PRELIMINAR_.pdf), logrando la reclasificación de este mapa en un nuevo producto o mapa de cinco clases de aptitud, las cuales responden a una escala de cinco niveles (*Muy Baja, Baja, Moderada, Alta* y *Muy Alta*), la cual presume la aptitud para el cultivo de café en el área de estudio desde *Muy Baja* aptitud hasta una *Muy Alta* aptitud (figura 3).

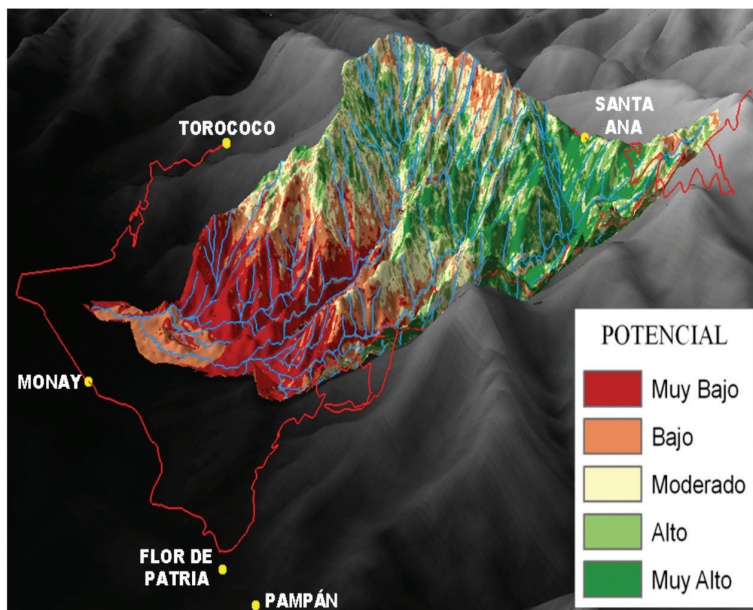


Figura 3. Mapa de aptitud del cultivo de café (*C. arabica*) en el área de la microcuenca del río Monaquito (en color en la versión digital de este artículo).
Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

El mapa de potencialidad es una representación cartográfica que divide el territorio estudiado en diferentes clases de aptitud para el establecimiento y desarrollo de cultivos de café (*C. arabica*). Analizando la distribución espacial de las diversas clases de aptitud, se encontró que en general, alrededor del 39,58% (4804,55 ha) del territorio analizado presenta áreas con *Muy Bajo* o *Bajo* Potencial para el cultivo de café; dentro de esta categoría se encuentran básicamente las áreas pertenecientes a las zonas más bajas de la microcuenca río Monaquito, teniendo como límite superior alrededor de los 700 msnm.

Las áreas con *Alto* o *Muy Alto* potencial para el desarrollo de la actividad evaluada constituyen cerca del 40,58% (4925,69 ha) de la zona de estudio. Estas áreas están constituidas principalmente

por ambas márgenes del río Monaicito, desde la intersección de las quebradas Alto de Santa Ana y Los Monos, hasta los alrededores de la unión de dicho río con la quebrada Trompillo, incluyendo asimismo en esta categoría, ambas vertientes de las tres quebradas mencionadas. También pertenecen a estas clases de aptitud, pero en menor proporción, las secciones medias y bajas de ambas márgenes en las quebradas Visupite, El Limón y Naranjal, en el caso de las dos últimas acentuándose en la margen izquierda.

La causa fundamental que afecta la manera en que se distribuyen las diferentes clases de aptitud en el territorio analizado es sin duda la asignación de mayor peso a los criterios de altitud, precipitación y temperatura, por lo que se puede calificar a dichas variables como las de mayor importancia e influencia para el cultivo de ***C. arabica*** en la microcuenca del río Monaicito, representando la suma de estos criterios, alrededor del 62% del total de los pesos asignados. Otro aspecto interesante que se observa en los resultados obtenidos es la concentración que se sucede de la mayoría de las áreas con *Alto* o *Muy Alto* potencial alrededor de las quebradas Alto de Santa Ana, Los Monos y Trompillo; esto se debe principalmente a que estas áreas se encuentran más cerca de los centros poblados y de las vías pavimentadas (troncal siete), influyendo estas variables de manera sutil en dicha aglomeración.

En las figuras 3 y 4 puede apreciarse la distribución espacial de las diferentes clases de aptitud para el cultivo de café en la microcuenca del río Monaicito, la distribución de los centros poblados, vías pavimentadas y red de drenajes en el entorno, así como una vista tridimensional (3D) del área de estudio obtenida a partir de un MDE.

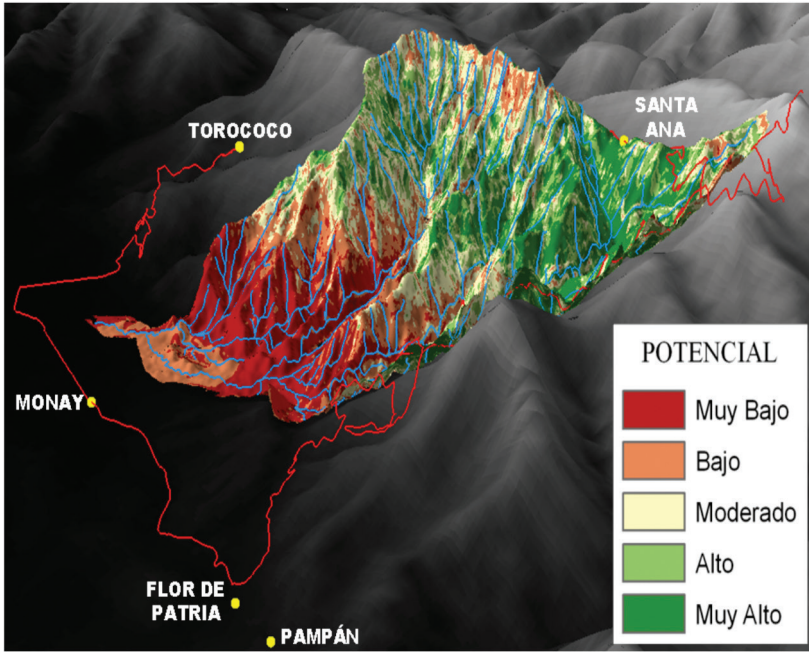


Figura 4. Vista 3D del área de estudio y su entorno generada a partir de un MDE, con sus respectivos drenajes, centros poblados, vías principales y clases de aptitud para el cultivo de café (en color en la versión digital de este artículo).

Fuente: Elaboración propia sobre un MDE basada en datos de elevación SRTM (USGS, 2006) y procesados bajo ArcGIS 9.2 (ESRI, 2006).

Conclusiones y recomendaciones

Se realizó la evaluación del potencial que posee la microcuenca del río Monaquito para el cultivo de *C. arabica*, hallándose que aproximadamente 2/5 partes del territorio analizado poseen aptitudes benéficas para el desarrollo esta actividad, lo que representa una extraordinaria extensión superficial para tal fin, la cual debe ser aprovechada de manera óptima.

El modelo de aptitud desarrollado en este trabajo constituye una estimación de los niveles de capacidad que tiene el área analizada para sustentar el cultivo de café, por lo que dicho modelo puede ser mejorado o enriquecido mediante la incorporación de nuevas capas de información como: tipos de cobertura vegetal, rentabilidad

financiera, usos de la tierra, estudios de mercadeo, calidad de las variedades y su procedencia, etc., y sobre todo aquellas relacionadas con las características edáficas de la zona, en virtud de la importancia que tienen los datos de suelo (pH, textura, materia orgánica, estructura, entre otros) para el desarrollo de toda actividad agrícola.

La unificación de las técnicas de EMC-SIG conforman un instrumento eficaz para el análisis de problemas relacionados con la planificación y ordenación del territorio, debido a la rapidez, confiabilidad, difusión y funcionalidad de estos métodos, por lo que se recomienda su amplio uso en los diversos estudios relacionados con la localización de actividades y asignación de usos para el territorio.

Los resultados derivados de esta investigación pueden ser de utilidad para la elaboración de estudios posteriores relacionados con la determinación de áreas adecuadas para el cultivo de otras especies de café (*Coffea canephora* o *Coffea liberica*) y/o en la evaluación de la capacidad para el desarrollo de cualquier otra actividad agrícola, tanto en el territorio de la microcuenca del río Monaquito, como en cualquier otro espacio. Se exhorta asimismo al uso de estos resultados por parte de los entes públicos y privados vinculados con la toma de decisiones en la planificación territorial.

Se recomienda ejecutar estudios de campo con fines de validación y certificación de los resultados aquí obtenidos, lo que daría a estos un mayor grado de confiabilidad, y además, elaborar trabajos posteriores para discriminar aun más las áreas catalogadas como de *Muy Alto* potencial para el cultivo de café, con el objetivo de elevar el nivel de detalle de la evaluación; inclusive, hasta el nivel de finca o unidad de producción.

Referencias bibliográficas

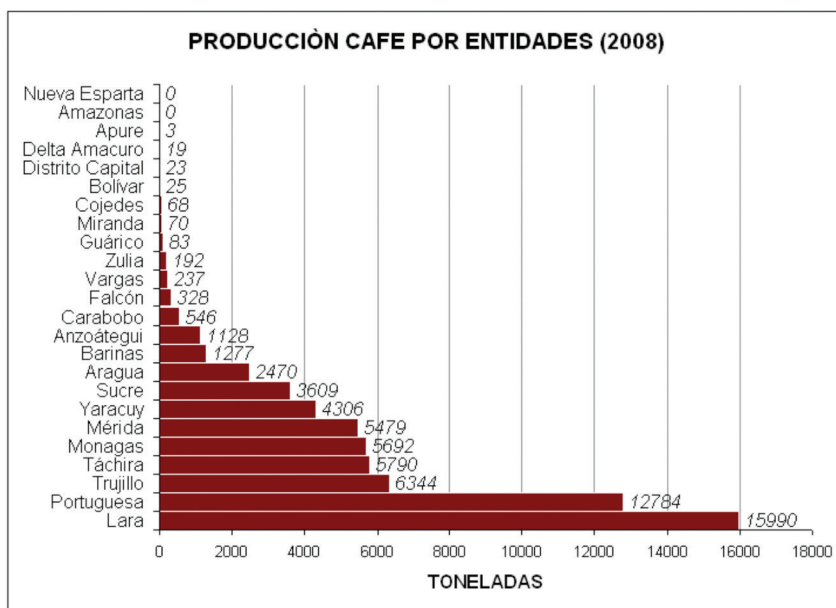
- ARELLANO, G., ROSALVA, N., PINEDA C., BECERRA, L. & JAIMES, E. 2008. Tipos de utilización de la tierra en áreas cafetaleras, microcuenca del Río Monaicito, estado Trujillo-Venezuela. **Revista Geográfica Venezolana**, 49(1): 43-56.
- BARREDO, J. 1996. *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Editorial Ra-Ma. Madrid. 250 p.
- BECERRA, L., ARELLANO, R. y PINEDA, N. 2006. Diagnóstico agrosocioeconómico de las fincas cafetaleras de la microcuenca del Río Monaicito, estado Trujillo-Venezuela. **Revista Geográfica Venezolana**, 47(1): 11-28.
- BELLIZIA, A., PIMENTEL, N. y BAJO, R. 1976. *Mapa geológico-estructural de Venezuela, escala 1:500.000*. Caracas: Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología.
- COPLANARH. 1975. *Inventario nacional de tierras extremo noroccidental de los andes*. Comisión del Plan Nacional del Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Caracas.
- CORPOANDES. 2005. *Plan de desarrollo Región Andina Estados Mérida, Táchira y Trujillo*. Recuperado el 9 de junio del 2013 en http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_planificacion/Plan_de_Desarrollo_Regional.pdf
- CORPOANDES. 2009. *Dossier del municipio Candelaria*. Recuperado el 9 de junio del 2013 en http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_informacion/DOSSIER%202009/Trujillo/Candelaria%202009.pdf
- CORPOANDES. 2009. *Dossier del municipio Pampán*. Recuperado el 9 de junio del 2013 en http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_informacion/DOSSIER%202009/Trujillo/Pampan%202009.pdf
- DIRECCIÓN DE CARTOGRAFÍA NACIONAL (DCN). 1979. *Cartas 6144-III-NO, 6144-III-NE, 6144-IV-SO y 6144-IV-SE (mapas), escala 1:25000*. Caracas

- ESRI. 2006. *ArcGIS 9.2* [Sistema de información geográfica]. Proyecto recuperado de: www.ESRI.com.
- HOYOS, J. 1994. ***Frutales en Venezuela*** (2a. ed.). Sociedad de Ciencias Naturales La Salle. Caracas. 381 p.
- MARTÍNEZ, LUCÍA. (Junio, 2012). *El café venezolano, un cultivo en riesgo de desaparecer*. XII Coloquio Internacional de Geocrítica. Bogotá 7 al 11 de mayo, Recuperado el 9 de junio del 2013 en <http://www.ub.edu/geocrit/coloquio2012/actas/14-L-Martinez.pdf>
- MINISTERIO PODER POPULAR PARA LA AGRICULTURA Y TIERRAS (MPPAT). 2010. *VII Censo Agrícola*. Recuperado el 9 de junio del 2013 en <http://censo.mat.gob.ve/>
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL AMBIENTE (MPPA). 2008. [Datos de precipitación y temperatura de estaciones ubicadas en el estado Trujillo. Archivos internos de la Dirección de Hidrología y Meteorología]. Datos no publicados.
- Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima y el Instituto de Tecnología Venezolana para el Petróleo (PDVSA-INTEVEP). 2011. *Código estratigráfico de las cuencas petroleras de Venezuela*. Recuperado el 9 de junio del 2013 en <http://www.pdvsa.com/lexico/lexicoh.htm>
- ROA, J. 2006. Aproximación al mapa de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos de la ciudad de Trujillo, Venezuela. ***Revista Ágora***, 17, 45-83.
- ROA, J. 2007. Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del Río Mocotíes, estado Mérida-Venezuela. ***Revista Geográfica Venezolana***, 48(2), 183-219.
- SCHARGEL, R., 2011. Una reseña de la geografía física de Venezuela con énfasis en los suelos. ***BioLlania*** Edición Esp. 10:11-26. Recuperado el 9 de junio del 2013 <http://200.11.218.113/herbario/publicaciones/04.pdf>
- SEGOVIA, L. y ROA, J. 2011. *Potencialidad del Cultivo de Chachafruto (*Erythrina edulis*) en la microcuenca del Río Monaicito, estado Trujillo-Venezuela, a través de SIG y EMC*. ***Revista Ágora*** (en prensa).

TREZZA, R. 1997. *Fundamentos de Hidrología Agrícola*. Trabajo de ascenso no publicado, Universidad de los Andes, Núcleo Universitario “Rafael Rangel”, Trujillo, Venezuela.

UNITED STATE GEOLOGICAL SERVICE (USGS). 2006. *Shuttle Radar Topography Mission, escena de 3 arcos de Segundo SRTM_154-619_n006e053*, completado finalizado, Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, Maryland. Recuperado el 9 de junio del 2013 en <http://landcover.org>

Anexo 1. Producción de café por entidades en Venezuela (2008).



Fuente: Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT, 2010).
VII Censo Agrícola. Recuperado el 9 de junio del 2013 en <http://censo.mat.gob.ve/>

Anexo 2. Producción de café nacional y relativa de los estados andinos en Venezuela durante 1992, 1997, 2002, 2004 y 2008.

	Producción de café (toneladas métricas) y participación relativa. Estados andinos, Venezuela									
	1992		1997		2002		2004		2008	
	TM	%	TM	%	TM	%	TM	%	TM	%
MÉRIDA	12052,4	17,4	6956,9	11,0	6915,6	8,2	6449,6	9,8	5479,0	8,2
TÁCHIRA	12736,5	18,4	7351,8	11,7	7308,1	8,7	6815,7	10,4	5790,0	8,7
TRUJILLO	13955,1	20,1	8055,3	12,8	8007,4	9,5	7467,8	11,4	6344,0	9,5
TOTAL LOS ANDES	38744,0	55,9	22364,0	35,5	22231,0	26,3	20733,0	31,6	17613,0	26,5
TOTAL VENEZUELA	69340	100	63000	100	84470	100	65559	100,0	66463	100

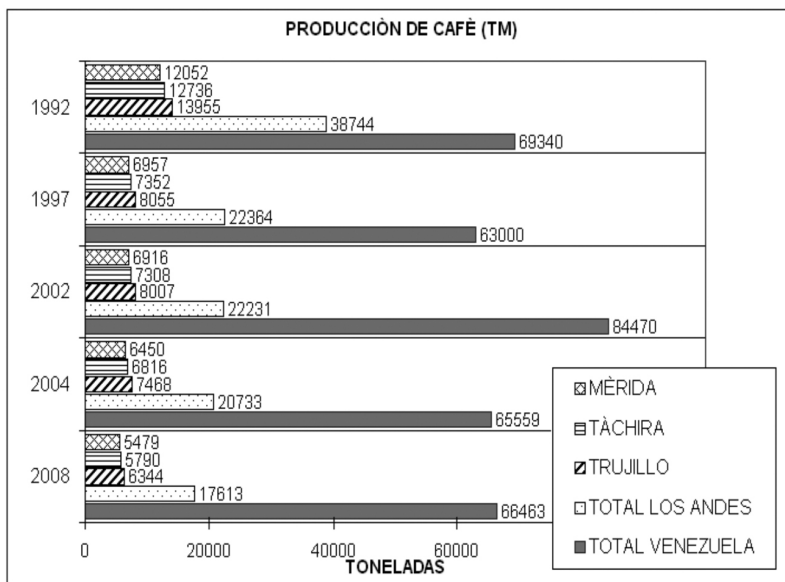
Fuentes: Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT) 2010.
VII Censo Agrícola. Recuperado el 9 de junio del 2013 en <http://censo.mat.gob.ve/>
 CORPOANDES. 2005. **Plan de Desarrollo Región Andina Estados Mérida, Táchira y Trujillo.**
 Recuperado el 9 de junio del 2013 en:

http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_planificacion/Plan_de_Developmento_Regional.pdf

Notas:

1. Los datos de producción por estados, total Los Andes y total Venezuela de 2008 fueron obtenidos del VII Censo Agrícola Venezolano (MPPAT, 2010).
2. Los datos de producción por total Los Andes y total Venezuela de 1992, 1997, 2002 y 2004 fueron obtenidos del Plan de desarrollo región andina, estados Mérida, Táchira y Trujillo (CORPOANDES, 2005).
3. Los datos de producción por cada estado: Mérida, Táchira y Trujillo de 1992, 1997, 2002 y 2004, son estimaciones propias basadas en los datos regionales y nacionales reportados en CORPOANDES (CORPOANDES, 2005), y el VII Censo Agrícola Venezolano (MPPAT, 2010).

Venezuela durante 1992, 1997, 2002, 2004 y 2008.



Fuentes: Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT), 2010. *VII Censo Agrícola*. Recuperado el 9 de junio del 2013 en <http://censo.mat.gob.ve/> CORPOANDES. 2005. *Plan de Desarrollo Región Andina Estados Mérida, Táchira y Trujillo*. Recuperado el 9 de junio del 2013 en: http://www.corpoandes.gov.ve/files/imagenes/file/descargas/gerencia_planificacion/Plan_de_Desarrollo_Regional.pdf

Anexo 4. Descripción de las unidades litológicas encontradas en el área y textura edafológica asociada.

UNIDAD LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN	TEXTURA EDAFOLÓGICA	PESO ASIGNADO
COLÓN (Kc)	LUTITAS, MARGAS, ARENISCAS	INCEPTISOLES Y VERTISOLES HIPODISTRÓFICOS ESTRUCTURA BLOCOSA	0,85
MUCUCHACHÌ (Pcm)	METARENISCAS, PIZARRAS, FILITAS	INCEPTISOLES Y ENTISOLES DISTRÓFICOS ESTRUCTURA BLOCOSA	0,7
AGUARDIENTE (Kn)	ARENISCAS CALACÁREAS, ARENISCAS CUARZOSAS	INCEPTISOLES HIPODISTRÓFICOS DE MODERADA PROFUNDIDAD Y PEDREGOSIDAD	0,55
LA QUINTA (Jq)	ARENISCA GRUESA CONGLOMERÁTICA	INCEPTISOLES Y VERTISOLES HIPODISTRÓFICOS MUY PEDREGOSOS	0,4
CARVAJAL (Qpt) Y PEÑAS ALTAS (Kpa)	ARENAS Y GRAVAS MACIZAS, CONGLOMERÁTICAS, ARENISCAS CUARZOSAS	INCEPTISOLES DISTRÓFICOS MODERADA PROFUNDIDAD, ESTRUCTURA BLOCOSA	0,325
BETIJOQUE-VICHÚ (Tmpbv)	ARCILLAS MACIZAS CONGLOMERÁTICAS	INCEPTISOLES Y VERTISOLES HIPODISTRÓFICOS MUY PEDREGOSOS	0,25
SEDIMENTOS ALUVIALES (Qal)	ARENAS Y GRAVAS SIN CONSOLIDAR	ENTISOLES HIPODISTRÓFICOS DE MODERADA PROFUNDIDAD, PEDREGOSOS	1

Fuente: Código Estratigráfico de Venezuela, PDVSA (<http://www.pdv.com/lexico/lexicoh.htm>), Inventario Nacional de Tierras, extremo noroccidental de los Andes, COPLANARH 1975, Schargel, 2011.

Influencia del Cambio Climático en la Producción de Agua de la Cuenca Alta del Río Pagüey, Venezuela

Climate Change Impact on water yield of Pagüey watershed, Venezuela

Alex Barrios R.* y Esneira Quiñonez**

Recibido: 15-11-2013

Aceptado: 21-04-2014

Resumen

Se aplicó un modelo hidrológico mensual (SIHIM) a la cuenca alta del río Pagüey (844 km²), localizada en el estado Barinas, Venezuela, el cual fue calibrado usando datos lluvia-escorrentía, período 1970-1993. Se determinaron series de precipitación mensual bajo cambio climático, período 2012-2036, en las mismas estaciones utilizadas durante la calibración del modelo. Para ello se aplicó un método de reducción de escala estadístico, mediante regresiones polinómicas y lineales, establecidas entre las estaciones de precipitación y el modelo de circulación global HADCM3 (IPCC, 2007). Aplicando el modelo SIHIM, con parámetros calibrados y precipitaciones proyectadas 2012-2036, se obtuvo la producción de agua del río Pagüey considerando cambio climático. Comparando con la línea base, se observó 10% de reducción en la producción de agua del río Pagüey (-5,6 m³/s). Para una frecuencia de 95% de excedencia, el caudal medio esperado se redujo 19% (-0,7 m³/s) debido al efecto de cambio climático. Igualmente, se observó una reducción en la producción de agua en 10 meses del año, variando entre -6% (0,3 m³/s) en el mes de febrero, hasta -36% (-16,9 m³/s) en el mes de junio. En julio y agosto la producción de agua aumentó en un valor cercano al 5% (cerca de 2 m³/s).

Palabras Claves: Simulación hidrológica, cuenca hidrográfica, producción de agua, cambio climático.

*Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP). E-Mail: alexb@ula.ve.

**Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). E-Mail: qesneira@ula.ve

Abstract

A monthly hydrological model (SIHIM) was applied to Pagüey river upper basin (844 km²), located in the state of Barinas, Venezuela. The model was calibrated using rainfall-runoff data from 1970 to 1993. Series of monthly precipitation were determined under climate change, period 2012-2036, at the same stations used for model calibration. Statistical downscaling method was applied and polynomial and linear regressions established between rainfall stations and HADCM3 global circulation model (IPCC, 2007). Applying the model with parameters calibrated and projected rainfall 2012-2036, water yield was obtained at Pagüey river considering climate change. Compared to baseline, there was 10% reduction in water yield at Pagüey river (-5.6 m³/s). At 95 % of frequency, the expected average flow was reduced 19 % (-0.7 m³/s) due to the effect of climate change. Similarly, there was a reduction in water yield in 10 months, ranging from 6% (-0.3 m³/s) in February to -36 % (-16.9 m³/s) in June. In July and August water yield increased by nearly 5% (about 2 m³/s).

Keywords: Hydrological simulation, watershed, water yield, climate change.

1. Introducción

El cambio climático constituye uno de los grandes retos del siglo XXI. La evidencia científica disponible permite constatar que las emisiones de gases de efecto invernadero - causadas fundamentalmente por actividades humanas - están originando cambios climáticos en gran escala, donde destacan un ascenso de la temperatura global, modificaciones en los patrones de precipitación, reducciones de las capas de hielo y glaciares, aumento del nivel del mar e incrementos en la intensidad y número de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007).

Las consecuencias esperadas de estos cambios climáticos en las actividades humanas y los ecosistemas del planeta son significativas y por lo tanto es un tema de discusión y preocupación de la comunidad científica internacional (MARN-PNUD-GEF, 2005), actualmente incorporado en la mayoría de las investigaciones y estudios referidos a la disponibilidad de recursos hidráulicos en Latinoamérica (Castellanos y Guerra, 2009; IDEAM-PNUD, 2010; SGCA *et al.*, 2011).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto del cambio climático en la producción de agua de la cuenca del río Pagüey, a través de la aplicación de un modelo hidrológico lluvia-escorrentía, calibrado con observaciones locales, con la finalidad de evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en los próximos 25 años.

2. Materiales y métodos

La cuenca alta del río Pagüey hasta la estación El Paso, 844 km² de superficie, está localizada en la cordillera andina del estado Barinas, al occidente de Venezuela (figura 1).

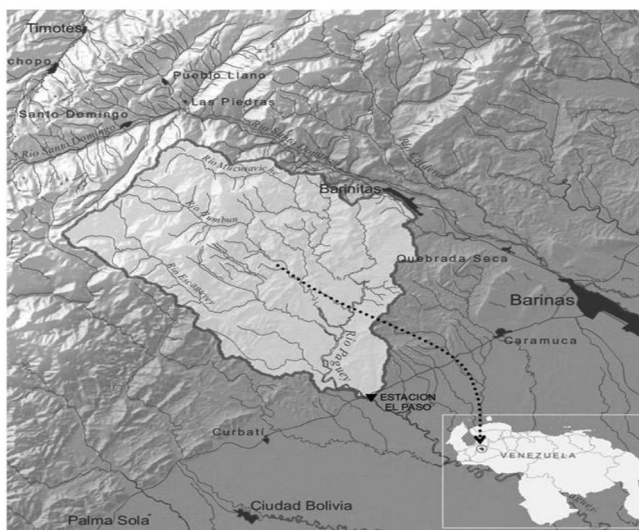


Figura 1. Ubicación cuenca río Pagüey. Hasta estación el Paso.

Fuente: Elaboración Propia.

Representa uno de los reservorios de agua potable más importantes de la región barinesa, abasteciendo actualmente a la ciudad de Barinitas y con el potencial de contribuir a mediano plazo en proyectos de desarrollo en el Eje Pagüey-Santo Domingo, incluyendo un ambicioso complejo petroquímico e industrial. Se trata de una cuenca de piedemonte andino, típica de paisajes húmedos, de relieve abrupto, con una pendiente media de 29%, abundante cobertura vegetal, predominando el bosque y matorral

siempre verde, suelos franco-arcilloso-arenosos a arcillo arenosos y una precipitación anual promedio de 2.150 mm.

El procedimiento metodológico se basó en la simulación hidrológica de cuencas mediante el modelo mensual SIHIM (Duque y Barrios, 1988). Se trata de un modelo matemático a escala de cuencas y con intervalos mensuales de tiempo, basado en los principales procesos físicos del ciclo hidrológico a esa escala de tiempo: evapotranspiración, infiltración, percolación, escurrimiento y flujo base. El Programa aplica algoritmos de optimización para la autocalibración de parámetros y para la resolución matemática de algunas ecuaciones algebraicas, de manera que se minimice el error debido a la naturaleza continua de los procesos físicos y la escala discreta mensual utilizada para la resolución de sus ecuaciones.

Previo a la simulación, se delimitó la cuenca del río Pagüey hasta la estación El Paso, se ubicaron las estaciones de medición de precipitación y se trazaron los polígonos de Thiessen necesarios para estimar la precipitación media (figura 2). El modelo SIHIM fue calibrado usando los únicos datos de esorrentía disponibles, registrados durante el período 1970-1993 (tomados del portal Web del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) en <http://www.inameh.gob.ve>), obteniéndose un coeficiente de correlación de 0,939 y una diferencia de 3,25% entre los caudales observados y simulados (figura 3).

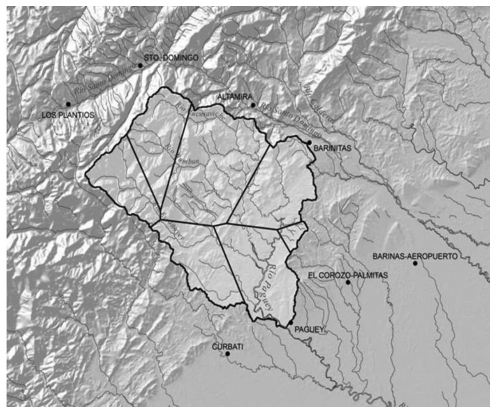


Figura 2. Ubicación de estaciones climatológicas y polígonos de Thiessen.

Fuente: Elaboración Propia.

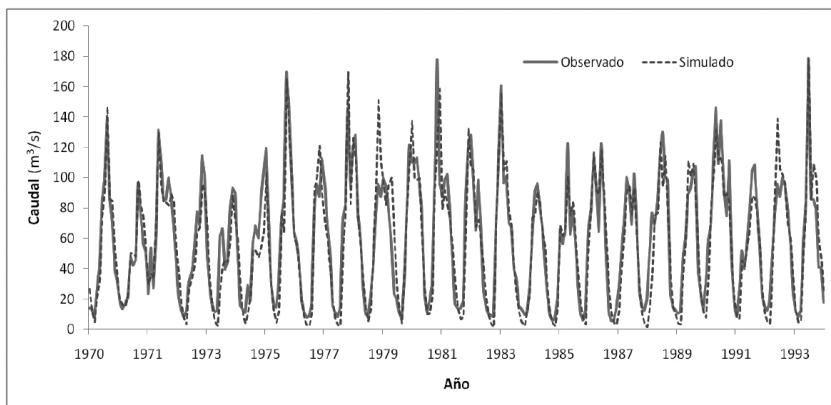


Figura 3. Resultados de la calibración del modelo SIHIM. Río Pagüey. Estación El Paso.

Fuente: Elaboración Propia.

El período 1970-1993 fue considerado como línea base para el estudio del impacto por cambio climático, de manera que el siguiente paso fue determinar la precipitación sobre las estaciones para un período futuro según las predicciones de algún modelo de cambio climático. Se seleccionó con tal fin el período 2012-2036 (25 años). Para predecir los cambios en la producción de agua de la cuenca se aplicó el modelo SIHIM ya calibrado, introduciéndose como dato de entrada nuevas series de tiempo (2012-2036) de precipitación mensual en cada una de las estaciones usadas durante la calibración. El procedimiento para estimar estas nuevas series de tiempo se basó en un método de reducción de escala estadístico, mediante regresiones polinómicas y lineales.

Se realizó una evaluación rápida de los datos de precipitación mensual, período de línea base 1970-1993, según 7 modelos de circulación global (GCM) correspondientes al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), conocido como AR4 (IPCC, 2007). Los datos de precipitación mensual se descargaron directamente desde el sitio Web del CCCSN (Canadian Climate Change Scenarios Network). Se descargaron las precipitaciones medias según cada modelo GCM evaluado para una superficie rectangular que cubriera la cuenca en estudio y las estaciones de medición alrededor de ella. Se compararon los datos GCM correspondientes al escenario climático intermedio SRES-A2

con los datos registrados en 10 estaciones locales (figura 4). Del análisis comparativo se obtuvo que todos los modelos climáticos subestiman la precipitación del área de estudio para el período base 1970-1993. Se seleccionó como modelo representativo para el estudio de impacto de cambio climático el denominado HADCM3 (Hadley Centre for Climate Prediction and Research, Met Office, UK) por considerarse que es el que tiene una amplitud de datos y patrón de la serie mensual más parecida al promedio de las estaciones locales (patrón irregular con amplia variabilidad de la lluvia mensual).

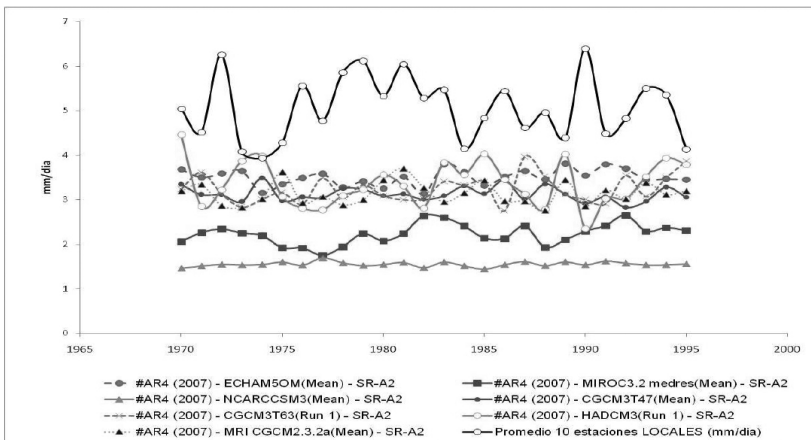


Figura 4. Precipitación línea base (1970-1995): 7 modelos GCM-AR4 y zona de estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

Analizando los datos de precipitación mensual proyectados por el modelo HADCM3 para el período 2012-2036, para los tres escenarios de emisión de gases disponibles (A1B, A2 y B1) se seleccionó el escenario intermedio, SRES-A2, el cual proyectaba la mayor reducción de precipitación en comparación a la línea base (7%).

Se descargaron series de tiempo de la precipitación mensual, línea base 1970-1995 y proyectada al período 2012-2025 por el modelo HADCM3 para las dos grillas con influencia en la cuenca del río Pagüey: 10°N;71,25°O y 7,5°N,71,25°O (figura 5).

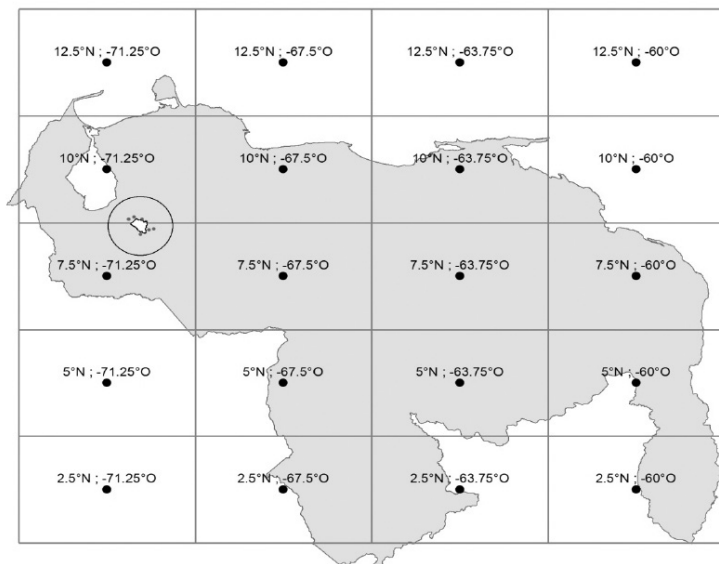


Figura 5. Grilla del modelo HADCM3 vista sobre Venezuela y el área de estudio.

Fuente: Elaboracion Propia.

Con el fin de adecuar las proyecciones a escala de grilla atmosférica a condiciones locales en la cuenca (reducción de escala al área de estudio), se establecieron regresiones lineales y polinómicas entre las curvas másicas de precipitación del modelo HADCM y las curvas másicas de cada estación de medición de precipitación, período de línea base 1970-1995 (figura 6). Usando los resultados de las regresiones en cada estación como ecuaciones de transformación, se convirtieron las series proyectadas por HADCM3 para el período 2012-2036, en precipitaciones mensuales sobre cada punto local o estación de medición. Aplicando el modelo SIHIM-calibrado con estos nuevos datos de precipitación, se obtuvieron los resultados sobre la producción de agua del río Pagüey, considerando el efecto de cambio climático.

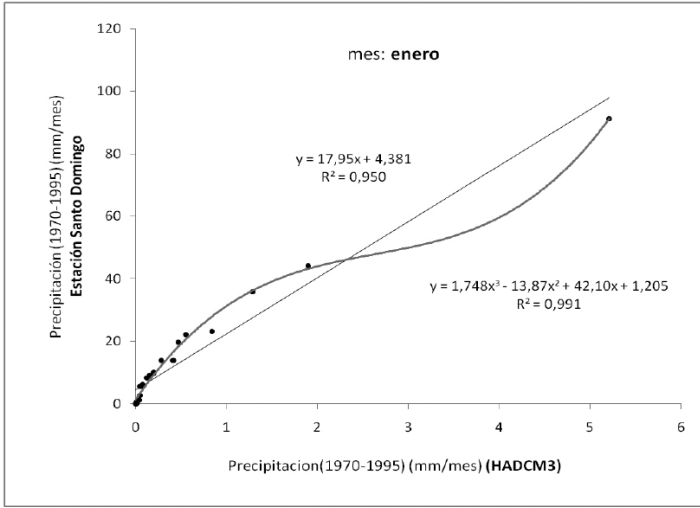


Figura 6. Regresiones para reducción de escala en la estación Santo Domingo, mes de enero
Fuente: Elaboracion Propia.

3. Resultados

Al compararse la escorrentías acumuladas de 25 años según la línea base (1970-1995) y proyectada por efecto de cambio climático (2012-2036), se observa un progresivo descenso en la última señalada (figura 7), llegando a ser igual a 10% al final del período. En términos de caudal, esto significó un cambio de $-5,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (-10%) debido al efecto de cambio climático.

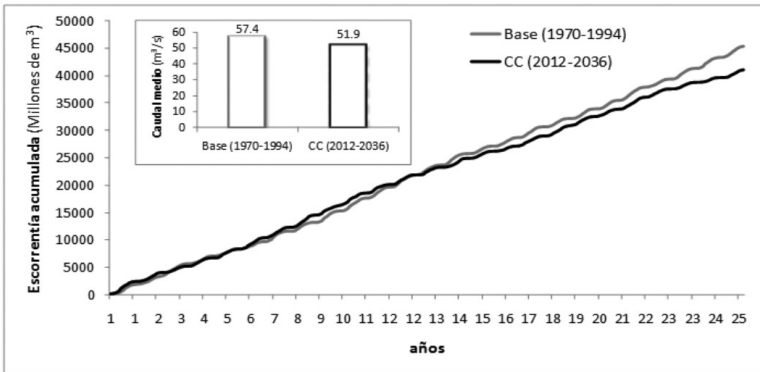


Figura 7. Caudales del río Pagüey: línea base y proyectado por Cambio Climático (HADCM3)
Fuente: Elaboracion Propia.

Considerando el conjunto de 25 años de escorrentía, se elaboraron curvas de duración de caudales (figura 8), de las cuales se obtuvo que para una frecuencia de 95% del tiempo, propia de estudios de abastecimiento, el caudal medio esperado se redujo debido al efecto de cambio climático en un 19% (-0,7 m³/s).

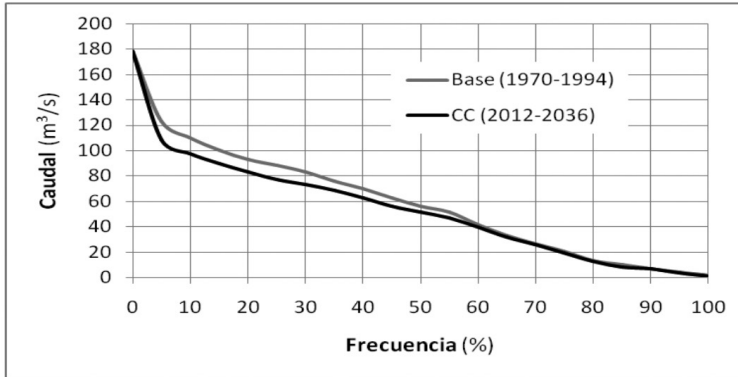
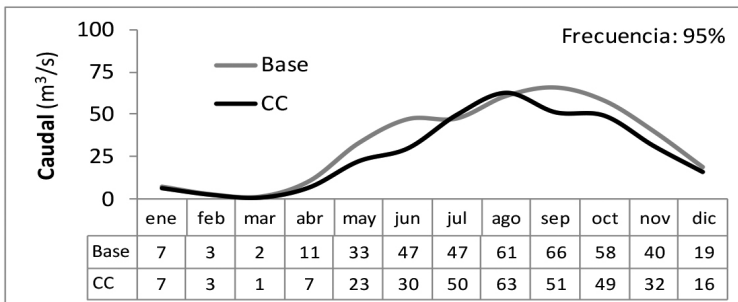


Figura 8. Curva de duración de caudales del río Pagüey, en la estación El Paso: línea base y proyectado por Cambio Climático (HADCM3).

Fuente: Elaboración Propia

Considerando patrones mensuales, las curvas de variación de caudales (figura 9), mostraron que para el caso de 95% de frecuencia, hubo una reducción de la producción de agua de la cuenca del río Pagüey en 10 meses del año, variando entre -6% (-0,3 m³/s) en el mes de febrero, hasta -36% (-16,9 m³/s) en el mes de junio. En los otros 2 meses del año, julio y agosto, la producción de agua aumentó en un valor cercano al 5% (cerca de 2 m³/s).



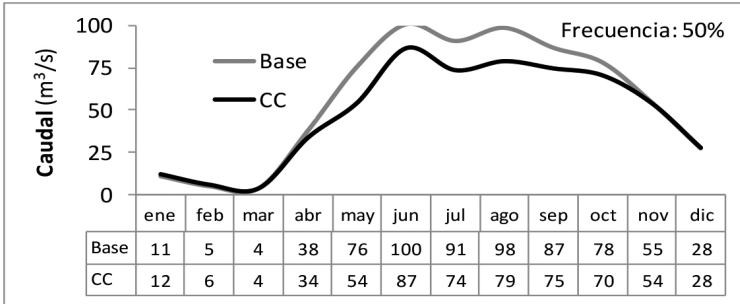


Figura 9. Curva de variación de caudales. Río Pagüey. Estación El Paso.
Fuente: Elaboración Propia

4. Conclusiones

La producción de agua de la cuenca del río Pagüey, calculada mediante simulación hidrológica (modelo SIHIM) y considerando el efecto de cambio climático (modelo HADCM3) indica una reducción del caudal medio del orden del 10% (-5,6 m³/s). Al considerarse una frecuencia de 95% del tiempo, la producción de agua se redujo en un 36% en el mes junio (-16,9 m³/s).

Estos impactos debido al cambio climático, son de importancia y deben ser tomados en cuenta a futuro, ya que la disponibilidad de agua del río Pagüey podría presentar conflictos de uso con diversos usuarios potenciales: el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Barinitas y centros poblados cercanos; el riego (actualmente en desarrollo por SINOHYDRA, convenio China-Venezuela, quienes planifican poner bajo riego unas 2000 ha en el corto plazo) y el Complejo Industrial Santa Inés (COMINSI).

Referencias bibliográficas

- CASTELLANOS, E. & GUERRA, A. 2009. *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala*. – Guatemala. – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Cuaderno de Desarrollo Humano. 2007 / 2008 - 1. Guatemala. 51 p.
- DUQUE, R. & BARRIOS, A. 1988. *Modelo de Simulación a Escala Mensual*. CIDIAT-ULA. Mérida. Venezuela. 86 p.

- IDEM-PNUD, 2010. *Indicadores, tendencias y escenarios hidrológicos para el Cambio Climático*. Programa Conjunto de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano. Colombia. 174 p.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. S. Salomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y K.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, U.K. y New York, NY, USA, 996 pp. Recuperado el 19 de septiembre de 2012 de: http://www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_info.html.
- MARN-PNUD-GEF. 2005. *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Venezuela. 141p.
- (SGCA, PE) / (BM, US) / (GEF, US) / (MAE/PRAA, EC) / (FONAG, EC). 2011. *Sistema de monitoreo para evaluar la disponibilidad de agua y evolución de los impactos asociados al cambio climático en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba y en las microcuencas Papallacta y Antisana. Estudio de Disponibilidad de Agua*. Quito, EC. 25 p.

Funcionabilidad y estabilidad de los diques de control de erosión torrencial construidos entre 1992 y 2004 en la cuenca del río Yacambú, estado Lara, Venezuela

Performance and stability of torrent control dams built between 1992 and 2004 in the Yacambú upper basin, Lara state, Venezuela

Francisco Rivas* y Edgar Hernández**

Recibido: 08-02-2013

Aceptado: 14-06-2013

Resumen

La cuenca del río Yacambú se localiza al sur de la Sierra de Portuguesa en la Cordillera de los Andes en Venezuela. Allí, la Empresa Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor C.A. (SHYQ C.A.) construyó entre 1992 y 2004 diques para estabilización de vertientes y reducción de erosión. La presente investigación tuvo el objetivo de evaluar mediante un trabajo de campo, con planillas diseñadas al efecto, la estabilidad y funcionamiento de los diques. Se identificaron 32 diques de consolidación, 1 dique de retención de sedimentos, 21 contradiques, 29 traviesas y 1 espigón para un total de 84 obras, las cuales se localizan en 4 torrentes: La Blanca, La Honda, La Escalera y La Negra. Los diques de consolidación tienen alturas generalmente de 4 m. y el dique de retención 12 m. De acuerdo a la investigación se concluye que el 70% de los 33 diques tienen buena condición, el 12% presenta daños menores. El 28% de los contradiques y 13% de las traviesas requieren mantenimiento urgente. El 87% de los 32 diques han logrado estabilizar las vertientes inestables reduciendo la erosión. Además se logró mantener el tránsito por la vía principal asegurando el traslado de la producción agropecuaria y de los materiales para la construcción de la obras del Sistema Hidráulico Yacambú.

Palabras claves: cuenca río Yacambú, torrentes, evaluación, diques

* Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Grupo de Estudios en Cuencas Altas Tropicales. Mérida - Venezuela. Correo E.: vergara@ula.ve

** Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal. Mérida - Venezuela. Correo E.: luisedgar.hernandez@gmail.com

Abstract

Yacambú river basin is located south of the Sierra de Portuguesa in the Andes in Venezuela. There, the Company Yacambu-Quibor C.A. (SHYQ C.A.) built between 1992 and 2004 dams to stabilize unstable slopes and reduce erosion. This research aims to evaluate through a field with appropriate forms the stability and functionality of the dams. We identified 32 check dams, 1 sediment storage dam, 21 auxiliary dams, 29 submerged sills, and 1 spur for a total of 84 works, which are located in 4 torrents: La Blanca, La Honda, La Escalera and La Negra. The check dams have generally heights of 4 m and the sediment retention dam with 12 m. According to our research 70% of the 33 dams have good condition, 12% have minor damage. 28% of auxiliary dams and 13% of the submerge sills require urgent maintenance. 87% of the 33 dams have reached the objective of slope stabilization reducing the erosion and the sediment yield to the reservoir. In addition, an important benefit was obtained as was keep traffic on the main road ensuring the transfer of agricultural production and materials for the construction of the works of the Yacambú Hydraulic System.

Key words: Yacambú river basin, torrents, evaluation, dams.

1.- Introducción**1.1.- El problema y su justificación**

En la cuenca hidrográfica del río Yacambú ubicada en el estado Lara, la Empresa Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor C.A. (SHYQ C.A.) construye uno de los proyectos hidráulicos de mayor trascendencia en Venezuela. Una presa de 162 m de altura en Paso Angostura generará un espejo de agua de 852 ha y un almacenamiento de 435 millones de m³ que serán transvasados a través de un túnel de 24,3 km de longitud con dos objetivos principales: por una parte, regar tierras altamente productivas en El Valle de Quibor que actualmente tienen fuertes restricciones de humedad, y por la otra, suministrar agua potable al Sistema hídrico de la ciudad de Barquisimeto (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables-SHYQ C.A. 1990; 1998).

Para lograr estos objetivos se requiere garantizar la calidad y cantidad de agua que llegará al embalse en Paso Angostura. Por esa razón, el conocimiento y control de los procesos erosivos y el arrastre de sedimentos en la cuenca alta del río Yacambú contribuirán a asegurar la vida útil del proyecto. Además, la generación de información que ayude a la comprensión y manejo adecuado de la cuenca hidrográfica constituirán un instrumento importante para la gestión de la empresa.

El río Yacambú y sus quebradas tributarias manifiestan durante las crecidas una alta capacidad de arrastre de material sólido que produce daños a pobladores, tierras, infraestructuras y servicios. Indicativo del potencial torrencial son los nombres de quebrada Negra, asociada a la gran carga de sedimentos de ese color, o el calificativo de quebrada La Ruidosa que sugiere su torrencialidad. Por esas razones, ya en la década de 1960 el Ministerio de Agricultura y Cría construyó obras para mitigar daños por arrastres durante las crecidas, especialmente para proteger vías y puentes; acción continuada posteriormente por el Ministerio del Ambiente, lo que se evidencia en los diques que aún existen en las quebradas Urupe y La Escalera. Pero es recientemente, desde 1992, cuando la empresa SHYQ C.A., en una forma sistemática inicia formalmente la ejecución de un programa de control de torrentes, dentro de la política de disminuir los volúmenes de sedimentos que llegan y llegarán al futuro embalse en Paso Angostura, mediante la construcción de diques, contradiques y traviesas para estabilizar laderas inestables y mitigar la socavación de cauces.

Para controlar la erosión torrencial se utilizan dos tipos de diques, ya sea para consolidar laderas o para retener sedimentos. Los primeros se llaman “diques de consolidación”, los segundos “diques de retención”. Es importante conocer esta diferenciación para interpretar los resultados de la presente investigación. Los “diques de consolidación”, son obras transversales al eje de la corriente, generalmente construidas en concreto o gavión, que buscan apuntalar laderas inestables, mediante la creación de cuñas de sedimentación que producen varios efectos: brindan soporte a la

base de las vertientes, orientan la ruta de las crecidas separándola de las márgenes frágiles y elevan levemente el perfil longitudinal, creando escalones en los cuales la escorrentía pierde energía cinética y capacidad erosiva. Un segundo tipo de diques son los de retención, que como su nombre lo indica, sólo buscan retener los sedimentos. La retención puede ser “total” mediante diques cerrados, o “selectiva y temporal” por medio de diques abiertos. (SHYQ C.A.- Unidad de Prestación de Servicios Forestales, Geográficos y Ambientales), 2005. Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú. Edo. Lara. Venezuela.

Los diques en torrentes no retienen grandes volúmenes de sedimentos, por cuanto las secciones topográficas son angostas. Pero estos diques son efectivos en la contención de laderas inestables evitando que deslicen y se conviertan en focos de erosión. En otras palabras, se consigue una disminución de material arrastrado en el cauce. Los diques de consolidación se protegen contra la socavación en su base y estribos mediante “contradiques” y “traviesas” localizadas inmediatamente aguas abajo. Los contradiques son obras transversales de poca altura. Las traviesas son obras transversales que no tienen altura de caída de la lámina de agua. Igualmente, como estrategia de control, se utilizan espolones o espigones que son estructuras de baja altura ancladas a la base de una de las vertientes de la sección del cauce para evitar la socavación lateral y las rampas que son recubrimientos con concreto o mortero con rocas para facilitar el flujo en determinadas partes del cauce, todos estos tipos de estructuras han mostrado beneficios en el control de la erosión torrencial en Europa y Japón por más de 140 años y, en tiempos más recientes, en la situación venezolana.

1.2.- Los objetivos

El presente trabajo tiene el propósito de presentar los resultados de la evaluación de las condiciones actuales, la estabilidad y funcionalidad de los diques de control de torrentes construidos entre los años 1992 y 2004 por el SHYQ C.A. en la cuenca alta del río Yacambú, lo que implicó realizar previamente un inventario detallado de las obras existentes.

1.3. - El área de estudio

La cuenca del río Yacambú, forma parte de las vertientes ubicadas en el sur de la Sierra de Portuguesa de los Andes venezolanos. Constituye un importante afluente del río Acarigua, cuyas aguas drenan hacia el río Orinoco. Tiene una extensión de 326,17 Km², de los cuales 317,18 corresponden a la superficie que no quedará cubierta por el embalse. Está localizada en la parte centro-sur del municipio Andrés Eloy Blanco del estado Lara, Venezuela, abarcando parte de las parroquias Pío Tamayo y Yacambú. La cuenca representa un 37,40 % del área total del municipio. Los linderos son: río Tocuyo por el noroeste, río Morador por el sur, río Guache por el sureste, río Acarigua por el este y río Portuguesa por el oeste (MARN - SHYQ C.A.,1998;SHYQ C.A.-Gutiérrez F. 1998). Geográficamente se localiza entre las coordenadas UTM Este 420000 y 450000 y UTM Norte 1060000 y 1080000 (figura 1).

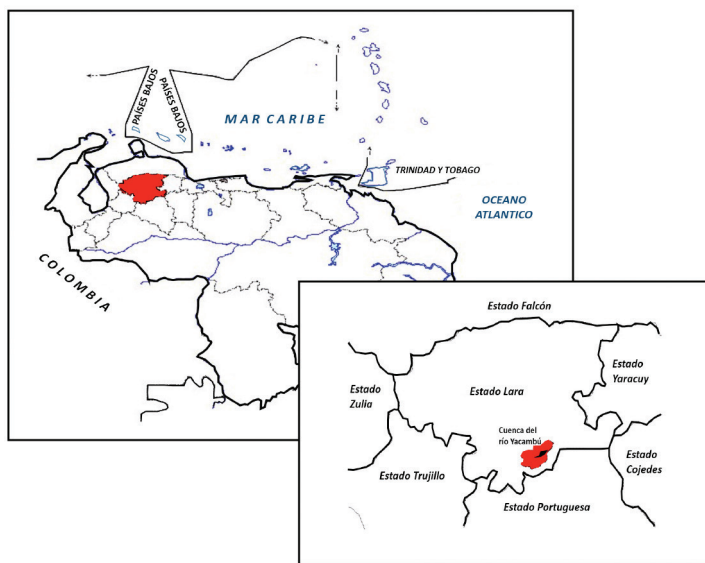


Figura 1. Localización general de la cuenca del río Yacambú, estado Lara, Venezuela.

Fuente: Elaboración propia.

La cuenca se ha dividido en 12 sectores o subcuencas, 4 de ellas localizadas en su margen derecha y las ocho restantes en la margen izquierda (tabla 1), (SHYQ C.A.- Unidad de Prestación de Servicios Forestales, Geográficos y Ambientales, 2005).

Tabla 1. Subcuencas en las dos vertientes del río Yacambú

Subcuenca o sector Vertiente derecha	Área (Km ²)	Subcuenca o sector Vertiente izquierda	Área (Km ²)
Las Quebraditas	29.28	Caspito-El Bajío	44.61
Los Palmares-Sabana Redonda	35.79	La Puente	26.76
Agua Blanca	21.47	Urupe	37.46
El Chorro-Cerro Blanco	31.15	Quebrada Negra	18.33
		Quebrada Blanca	18.72
		La Gran Parada	6.67
		La Escalera	18.16
		Quebrada Honda	38.01

Fuente: Elaboración propia.

Los diques, contradiques y traviesas se han construido en las nacientes de las subcuencas quebrada Negra, quebrada Blanca, La Escalera y quebrada Honda, ubicadas en la vertiente izquierda del río Yacambú, en zonas con relieve abrupto, filitas carbonosas muy inestables y erosividad mayor de 8.000 MJ (megajoules) /ha/mm/año, lo que ciertamente le confiere a estos terrenos una alta torrencialidad. En las quebradas mencionadas ocurre una alternancia entre tramos estables e inestables. Los tramos estables tienen rocas duras consolidadas, principalmente filitas silíceas, formando diques naturales con caídas de agua y gargantas (Ingenieros De Santis C.A., 1991; 1995; 2001).

Los trechos inestables discurren con gradientes mayores de 10%, sobre filitas carbonosas o depósitos de material poco consolidado, muy susceptibles a la socavación de fondo y lateral, que a su vez produce inestabilidad en las vertientes, deslizamientos y genera material sólido al río. También se localizan tramos de deposición natural donde se almacenan temporalmente volúmenes significativos de material sólido, que luego alimentan paulatinamente con sedimento fino el transporte de sólidos hacia aguas abajo. Las diferentes situaciones descritas permiten comprender la compleja dinámica torrencial de la cuenca hidrográfica del río Yacambú, facilitando el diseño de una estrategia adecuada para el control de la erosión y sedimentación.

2.- Metodología y materiales

Para lograr los objetivos se realizó una revisión detallada en el campo, recolectándose datos de cada dique. Se utilizaron un conjunto

de planillas, tomando como referencia el trabajo desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 1981) con la finalidad de sistematizar la información sobre localización, objetivos, dimensiones, daños sufridos por cada dique, funcionalidad y efectos logrados (tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7). Las variables señaladas se fijaron en función de la opinión de grupos de expertos y revisión de literatura sobre valoración de daños en obras de control de torrentes. Igualmente, se revisaron fotografías aéreas, mapas, planos y se realizaron entrevistas y reuniones con el personal técnico del SHYQ C.A quienes habían participado en la construcción de los diques. La información sobre estabilidad de las laderas, previa a la construcción de los diques, fue obtenida en entrevistas a personas conocedoras de la situación inicial y por revisión de proyectos. Los diques se numeraron siguiendo la nomenclatura sugerida por el SHYQ C.A., de aguas arriba hacia aguas abajo, con los códigos D_1 , D_2 , D_3 , D_n .

Tabla 2. Localización y cronología

Quebrada o río		Tributario a:	
Tipo de obra		Código SHYQCA	
UTM Norte		Altitud	
UTM Este			
Fecha de inicio		Fecha finalización	
Edad		Emp. Constructora	
Ing. Inspector		Ing. Residente	
Costo Bs.			
Fecha mantenimiento (s)		Propósito	
Costo Bs.			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Objetivos perseguidos (entrevistar y/o documentar)

Objetivos (de la obra específica y del sistema de obras)	
Situación inicial de inestabilidad de laderas	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Dimensiones. Fotos N° (___)

Materiales de construcción		Ancho de cauce		Espesor en la base	
Socavación actual		Altura de caída actual		Base menor de la sección de flujo	
Espesor en la corona		Altura de la sección de flujo		Longitud de las alas	
Base mayor de la sección de flujo		Profundidad de fundamento		Longitud entre el dique y el contradique	
Inclinación paramento aguas abajo		Inclinación paramento aguas arriba			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Daños a la estabilidad Fotos N° (___) (Ver clave de código)

Causas	ELEMENTOS					
	Fundamento	Cuerpo (incluyendo paramento aguas abajo)	Sección de flujo	Alas	Estribos	Total de puntos
Socavación de fondo						
Socavación lateral						
Asentamiento diferencial						
Daños por choques e impactos súbitos						
Desgaste progresivo por fricción y oxidación						
Total de puntos						
Conclusión:						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Funcionabilidad en cuanto a retención

Función	Altura	Pendiente de compensación	Longitud de la cola	Ancho medio	Volumen retenido actual
Retención directa (dique de retención)					
Retención por dique de consolidación					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Funcionabilidad en cuanto a estabilización de vertientes

Función	Área estabilizada			Volumen estabilizado actual	Estabilización total o parcial
	Largo	Ancho	Espesor medio		
Estabilización por diques de consolidación o traviesas.					

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de las estructuras se realizó en el campo, vía la cuantificación de porcentajes de daños observados en los diferentes componentes de las estructuras, la medición en centímetros o metros de elementos indicadores del deterioro, e igualmente se establecieron escalas de puntuaciones de daños observados al estado general de las obras. En las tablas 8 y 9 se muestran el conjunto de valores diseñados para el proceso de evaluación.

Tabla 8. Información general

Tipo de obra						
Tipo	Dique	Contradique	Traviesas	Espolón	Rampa	
Código	D	CD	T	E	R	
Material de construcción						
Tipo	Concreto ciclópeo	Concreto armado	Mampostería hidráulica	Mampostería gavionada	Madera	Otro
Código	CC	CA	MH	MG	M	O
Altura del dique						
Tipo	Bajo	Medio	Alto			
Código	< 2 m	2 – 10m	> 10m			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Sobre daños a la estabilidad

Profundidad media de socavación de fondo actual (m)				
Dimensión	0m	0 – 0.5 m	0.5 – 1m	> 1.1m
Código	0	1	2	3
Profundidad media de socavación lateral (m)				
Dimensión	0m	0 – 0.5m	0.5 – 1 m	> 1.1m
Código	0	1	2	3
Asentamiento diferencial (número de grietas /m²)				
Dimensión	No existen grietas	1 – 2	3 – 4	> 4
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por choque e impactos súbitos, malla oxidada o removida en la sección de flujo				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por choque e impactos súbitos, malla oxidada o removida en las alas				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por desgaste progresivo en el cuerpo del dique				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Área dañada (%) por desgaste progresivo en la sección de flujo				
Dimensión	0	1 – 10	11 – 30	> 30.1 (%)
Código	0	1	2	3
Estado general de la obra				
Condición	Muy buena	Buena	Regular	Mala
Daños	Sin daños	Daños leves	Destrucción parcial	Destrucción total
Puntuación	0	1 – 6	7 – 12	> 13
Código	0	1	2	3

Fuente: Elaboración propia.

3.- Resultados y discusión

3.1- Inventario de obras y su localización

Se identificaron 33 diques, 21 contradiques, 29 traviesas y 1 espigón, lo que suma 84 obras localizadas en las subcuencas y torrentes indicados en la tabla 10. Se concluye que ha existido un esfuerzo significativo en la construcción de obras de control de torrentes, siendo una de las cuencas hidrográficas en Venezuela que tiene más obras de este tipo. Se han ejecutado obras en 9 torrentes, correspondientes a 4 subcuencas. La mayoría de las obras (83%) se localizan en los torrentes quebrada Blanca, nacientes de quebrada Honda y quebrada La Negra.

Tabla 10. Número de diques, contradiques y traviesas construidas por SHYQ C.A. en la cuenca del río Yacambú

Subcuenca	Torrente	Diques	Contradiques	Traviesas	Espigones	Total
Quebrada Negra	Q. El Amparo	1	1	-	-	2
	Q. Negra	1	-	-	-	1
Quebrada Blanca	Q. Blanca	12	5	4	-	21
La Escalera	Q. La Concha	2	2	2	-	6
	Q. La Negra	5	3	13	1	22
	Q. La Escalera	1	1	-	-	2
Quebrada Honda	Q. Las Morochas	3	2	-	-	5
	Q. Las Rosas	2	1	2	-	5
	Nacientes Q. Honda	6	6	8	-	20
Total		33	21	29	1	84

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Análisis por subcuencas

3.2.1.- Subcuenca quebrada Negra

Es una unidad hidrográfica que tiene características distintivas en toda la cuenca del río Yacambú. Casi toda su área está cubierta por bosque natural y por bosque en recuperación, después de ser decretada como área del Parque Nacional Yacambú en 1962. Se trata de un caso interesante, donde se demuestra la utilidad de una figura legal de protección en la recuperación del ecosistema boscoso y su influencia en el mejoramiento del régimen hidrológico. Sus crecidas son de color negro por la alta concentración de sedimentos provenientes de las filitas carbonosas que cubren buena parte del sector medio. La alta inestabilidad geológica produce abundante material sólido en el cauce con tramos largos de deposición temporal. Recibe la escorrentía de quebrada Blanca en la cota 780 msnm, siendo esta última una corriente hídrica que en su sector superior manifiesta crecidas con pocos sedimentos. Para el presente estudio, las quebradas Blanca y Negra son tratadas como unidades hidrológicas separadas, ya que la cola del futuro embalse llegará a la

confluencia de ellas y las separará. En la subcuenca quebrada Negra existen solamente 2 diques, uno en el torrente El Amparo y el otro en el cauce de la propia quebrada Negra.

Torrente: El Amparo

•**Dique 1 (QN/QEAD₁)**

El dique QN/QEAD₁ está localizado en un pequeño torrente, afluente de quebrada Negra, llamado por los lugareños como quebrada El Amparo. Allí se construyó, en el año 2002, un dique de consolidación con su respectivo contradique. Las obras tenían el propósito de estabilizar una ladera inestable que amenazaba directamente la calzada de la vía Sanare-La Gran Parada, en el sitio denominado “La Pantalla”. Este dique se localiza en las coordenadas UTM Este 435216 y UTM Norte 1073489, a 1709 msnm. El material de construcción es de gaviones (malla Macaferri), con estribos y sección de flujo en mampostería hidráulica. La altura del dique es de 2,00 m, tiene una sección trapezoidal compuesta. El dique en general se encuentra en buen estado. No presenta grietas, no existen losas partidas, ni la malla metálica está rota. Tampoco existen erosiones laterales en sus estribos, los resultados de la evaluación de daños indican un desgaste progresivo “leve” por fricción y oxidación en la sección de flujo. El dique QN/QEAD₁ es de consolidación y ha cumplido sus objetivos con mucha efectividad. Es evidente la recuperación en la estabilidad y el cubrimiento vegetal de la ladera, que ya no tiene la criticidad previa, indicada por los concedores del área. Este dique ha permitido que la carretera mantenga el tránsito permanente, lo cual es de alto valor estratégico para las actividades de construcción del túnel de trasvase y para la vida económica de las comunidades conectadas por esta vía. No es un dique de alta impacto que permita disminuir significativamente el volumen de arrastre hacia el futuro embalse.

Torrente: quebrada Negra

•**Dique 1 (QND₁)**

Esta obra es el único dique de retención construido en la cuenca del río Yacambú; su objetivo principal era promover una cuña larga

de sedimentación aprovechando una garganta de estribos rocosos sólidos. Además, logró elevar el nivel base de la quebrada y proyectar su influencia hacia agua arriba. Se encuentra ubicado en el cauce de quebrada Negra en un sitio aguas arriba de la confluencia con quebrada La Canoa y aguas abajo de la confluencia del pequeño torrente El Amparo con quebrada Negra, en la cota 1536 msnm. Es el dique más alto que actualmente existe para control de torrente en la cuenca del río Yacambú. Las coordenadas de su localización son UTM Este 435577 y UTM Norte 1072610. Tiene 10,00 m de altura de caída, con funciones específicas de retención de sedimentos. Fue construido en mampostería hidráulica en el año 2002. El dique tiene el paramento exterior escalonado y sección de flujo compuesta. Los muros laterales construidos aguas arriba, con el fin de evitar erosiones en los estribos, significaron un elevado volumen de obra, y por consiguiente aumentaron el costo de ejecución. Este dique de retención cumple una función muy importante y ha sido efectivo, ha retenido unos 8.000 m³ de material sólido, con una cola de sedimentación de aproximadamente 150,00 m de largo. Tiene el paramento aguas abajo escalonado. El dique se encuentra en buen estado, sin grietas ni erosiones laterales en sus estribos pero la traviesa está totalmente socavada; afortunadamente, existe un dique natural rocoso que lo protege; debe ser inspeccionado anualmente, el resultado de la evaluación indica que no se observó ningún tipo de daño a los elementos del dique. Los sitios de los diques QN/QEAD₁ y QND₁ no tienen accesibilidad directa por carretera. Se ha tratado de mantener así, para evitar riesgos de invasión, ya que se trata de un Parque Nacional. En cuanto a la funcionalidad y efectos logrados, se puede establecer que, el dique en la quebrada El Amparo ha cumplido el objetivo perseguido y además ha asegurado la transitabilidad por ese sitio crítico de la vía Sanare - La Gran Parada. Ha demostrado la utilidad práctica de este tipo de obra, en la estabilización de movimientos en masa que afectan carreteras, pero no es un dique de alta significación, en términos de disminuir el material sólido hacia el futuro embalse.

3.2.2.- *Subcuenca quebrada Blanca*

Aquí se inició en el año 1992 la construcción de diques en el sector medio - superior del cauce principal, constituyéndose en el modelo original para observar el comportamiento de las obras y luego, ejecutar otras en torrentes vecinos. Actualmente, es el torrente con mayor longitud de tratamiento con diques en toda la cuenca del río Yacambú. En el cauce principal de quebrada Blanca se han construido hasta el presente 12 diques de consolidación, 5 contradiques y 4 traviesas. Los diques son 10 de mampostería hidráulica y 2 de mampostería gavionada.

• **Dique 0 (QBD₀)**

Fue construido en mampostería hidráulica en el sitio de coordenadas UTM Este 436100 y UTM Norte 1073901, a una altitud de 1640 msnm. Tenía el propósito de estabilizar un deslizamiento y desviar el flujo hacia la margen izquierda, para evitar su impacto en un área inestable. El dique tiene actualmente una socavación de 0,50 m y no tiene profundidad de fundamento, presenta daño fuerte (calificación 3) en el cuerpo, sección de flujo y alas. Tiene daños moderados (calificación 2) en el fundamento y estribos. El espesor en la corona es de 1,20 m. El resultado indica que este dique se encuentra casi totalmente destruido. El deslizamiento vecino aún no se ha estabilizado, ya que el dique falló por su flanco derecho. Actualmente, parte de la estructura del dique destruido desvía el flujo hacia la zona fallada ubicada en la margen izquierda de la quebrada. Esta situación obliga al curso del torrente a desplazarse por una estrecha sección, socavando la base del deslizamiento. Por otra parte, en la zona basal inferior (aguas abajo) presenta un pequeño proceso de socavación que no es conveniente para la estabilización de la masa.

• **Dique 1 (QBD₁)**

El dique 1 está localizado en las coordenadas UTM Este 436127 y UTM Norte 1073897 a una altitud de 1627 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica con el propósito de brindar estabilidad a un deslizamiento presente en dicho sitio. Tiene una altura de caída

de 5,50 m y espesor en la corona de 0,80 m. La sección de flujo es trapezoidal con 14,00 m en su base mayor, 12,00 m en su base menor y 1,00 m de altura. El ala derecha tiene una longitud de 3,20 m y la izquierda de 6,00 m. La inclinación en el paramento aguas abajo es escalonada y vertical aguas arriba. Es un dique con sólo daños leves (calificación 1) producidos por impactos súbitos y por desgaste en el paramento aguas abajo del cuerpo y la sección de flujo. La estructura de protección al dique presenta daños que deben ser corregidos. Es una obra de protección ubicada muy cerca del dique principal. La cuña de azolvamiento del dique tiene una longitud de 60,00 m y una pendiente de compensación de 9%. El ancho medio de esa cuña es de 20,00 m.

•Dique 2 (QBD₂)

El dique 2 se localiza en la coordenada UTM Este 436195 y UTM Norte 1073881 a una altitud de 1.600 msnm. El dique tiene 5,00 m de altura con 0,90 m de espesor en la corona. Está construido en mampostería hidráulica. La sección de flujo es trapezoidal, con una base menor de 11,70 m y base mayor de 14,0 m. La sección de flujo tiene una altura de 1,00 m. El ala derecha tiene 20,00 m de longitud y la izquierda 11,00 m. Existe una obra de protección escalonada adosada al cuerpo del dique. El dique tiene problemas calificados como leves (calificación 1), vinculados con asentamiento diferencial en el cuerpo y desgaste en el paramento aguas abajo del cuerpo. Esta obra ha generado un azolvamiento de 83 m de longitud y 30 m de ancho con una pendiente de compensación del 6%.

•Dique 3 (QBD₃)

Se localiza en la coordenada UTM Este 436562 y UTM Norte 1073719, a una altitud de 1.580 msnm. Su altura de caída actual es de 2,50 m con un espesor en la corona de 1,00 m. La sección de flujo es trapezoidal con 1,00 m de altura, base menor de 12,00 m y base mayor de 15,00 m. El ala derecha tiene una longitud de 2,40 m y el ala izquierda 6,00 m. El dique presenta asentamiento diferencial leve (calificación 1) en su cuerpo. La protección construida aguas abajo tiene pequeños daños por impacto y desprendimiento de rocas. Es un dique que está orientado adecuadamente, de acuerdo al

eje de regulación. La pendiente de compensación detrás del dique es de 5%, con una cola de longitud de 85,00 m y un ancho medio de 25,00 m.

•Dique 4 (QBD₄)

Se ubica en la coordenada UTM Este 436562 y UTM Norte 1073719 a una altitud de 1.535 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica y tiene una altura de 6,50 m. La corona tiene un espesor de 1,40 m. La sección de flujo es trapezoidal con una base menor de 11,80 m, una altura de la sección de flujo de 1,00 m y 13,50 m en la base mayor. La obra de protección adosada al cuerpo del dique es escalonada y está socavada con 1,00 m de profundidad. El dique presenta daños leves (calificación 1) en su cuerpo por desgaste progresivo por fricción y oxidación. Esta obra ha generado un pequeño volumen de sedimentación que tiene una cola de 74,00 m y 25,00 m de ancho. La pendiente de compensación es 1%.

•Dique 5 (QBD₅)

El dique QBD₅ se ubica en la coordenada UTM Este 436876 y UTM Norte 1073620, a una altitud de 1.524 msnm. Tiene 6,00 m de altura y 1,00 m de ancho de espesor en la corona. Se detecta una socavación actual de 1,00 m en su fundamento. La sección de flujo es trapezoidal al igual que los otros diques, con una altura de 1,00 m, una base menor de 11,00 m y una base mayor de 13,50 m. El ala derecha tiene una longitud de 4,00 m al igual que el ala izquierda. Este dique tiene el paramento aguas abajo escalonado y vertical aguas arriba. No tiene ninguna obra de protección aguas abajo. La evaluación de daños al dique, indica una calificación de daños leves (calificación 1), en el fundamento, cuerpo y sección de flujo. Se observa desgaste por fricción en los escalones del paramento aguas abajo. La pendiente de compensación es de 3% con una longitud de 60.00 m y 30.00 m de ancho.

•Dique 6 (QBD₆)

Se localiza en las coordenadas UTM Este 437242 y UTM Norte 1073648, a una altitud de 1.454 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica con una altura de 4,50 m y un espesor de

corona de 1,00 m. La sección de flujo es doble trapezoidal con una base menor de 5,80 m y una base mayor de 9,00 m, la altura de la sección de flujo es 1,00 m. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. El ala derecha posee una longitud de 9,50 m y la izquierda de 6,00 m. Tiene un contradique localizado 11,00 m aguas abajo. Este dique no presenta problemas en su estabilidad según la escala de evaluación. Ha generado una cola de sedimentación de 20,00 m de largo con una pendiente de compensación de 1%.

• **Dique 7 (QBD₇)**

El dique QBD₇ se encuentra a una altitud de 1.422 msnm, en las coordenadas UTM Este 437393 y UTM Norte 1073535. Es un dique de consolidación construido en mampostería de gavión, con una altura de 4,00 m y 1,00 m de espesor en la corona. Tiene una traviesa localizada 14,00 m aguas abajo. En la inspección no se detectó la presencia de problemas de estabilidad de acuerdo a la escala de valoración aplicada, por lo que no requiere acciones de mantenimiento en este momento.

• **Dique 8 (QBD₈)**

Se localiza en las coordenadas UTM Este 437474 y UTM Norte 1073418 a una altitud de 1.420 msnm. El dique sufrió volcamiento; su contradique y traviesa eran de gavión y fueron destruidos en su totalidad. La evaluación indica una situación de daños fuertes (calificación 3).

• **Dique 9 (QBD₉)**

Este dique se localiza a 1.400 msnm en la coordenada UTM Este 437570 y UTM Norte 1073374. Fue construido en mampostería hidráulica, con 4,50 m de altura y 1,10 m de espesor de corona. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. La sección de flujo es doble trapezoidal o compuesta de 1,00 m de alto con la base mayor de 9,00 m y la menor de 5,00 m. Las alas tienen 3,50 m a la derecha y 6,00 m a la izquierda. El dique posee un contradique y una traviesa en mampostería hidráulica. El contradique está ubicado a 10,00 m aguas abajo del dique. En general, el dique se encuentra en buenas condiciones, sólo con daños leves asociados

al desgaste en el paramento aguas abajo, debido a la acción de la lámina vertiente (calificación 1).

La pendiente de compensación es de 2% generando una cola de sedimentación de 50,00 m que empalma con el dique 8, lo que indica un escalonamiento óptimo. El ancho medio de la cuña de azolvamiento es de 35,00 m.

•Dique 10 (QBD₁₀)

Se localiza a una altitud de 1.382 msnm en las coordenadas UTM Este 437653 y UTM Norte 1073360. Tiene 3,00 m de altura y fue construido en mampostería hidráulica. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. La sección de flujo es doble trapezoidal o compuesta con 1,00 m de altura. Tiene 5,00 m en la base menor y 9,00 m en la base mayor. La longitud de las alas a la derecha es 7,00 m y 8,00 m, a la izquierda. La evaluación indica que presenta daños leves (calificación 1), en el cuerpo por asentamiento diferencial, y sección de flujo del dique por desgaste progresivo por fricción y oxidación. Posee un contradique y una travesía con problemas menores de asentamiento y desgaste. La cola de sedimentación es de 46,00 m con un ancho medio de 30,00 m y una pendiente de compensación de 1%.

•Dique 11 (QBD₁₁)

El último dique localizado en el sentido aguas abajo en quebrada Blanca, es el codificado como (QBD₁₁). Está ubicado a una altitud de 1.380 msnm, con las coordenadas UTM Este 437759 y UTM Norte 1073277. Es un dique de consolidación bajo de 3,50 m de altura de caída, construido en mampostería hidráulica. El paramento aguas abajo es escalonado y vertical aguas arriba. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. Este dique presenta daños leves (calificación 1) por desgaste en el paramento aguas abajo del cuerpo, asociado a la caída de la lámina vertiente. Tiene un sólo contradique situado a 6,00 m de separación. La cola de sedimentación es pequeña, sólo de 32,00 m con un ancho medio de 15,00 m y 2% de pendiente de compensación.

En conclusión, en quebrada Blanca existen 12 diques de consolidación, 5 contradiques y 4 traviesas para un total de 21 obras. Diez diques son de mampostería hidráulica y dos gavionada. Todos perseguían el objetivo de estabilizar laderas inestables que presentaban movimientos de masa. La estrategia de control fue la colocación selectiva de diques, localizándolos en sitios donde ocurrían movimientos en masa que se deberían estabilizar, mediante cuñas de sedimentación. Esta estrategia de resolver el problema de la inestabilidad de las laderas consiguió los objetivos deseados. Las obras han funcionado adecuadamente para estabilizar los tramos tratados. Además, su ejecución sirvió para adquirir experiencia en diseño y construcción de diques y para perfeccionar el diseño de diques en otras subcuencas vecinas. Diez de los 12 diques construidos están funcionando adecuadamente pero el D_0 y D_8 colapsaron, y se encuentran con daños fuertes.

En cuanto a los efectos logrados, vale la pena resaltar que los diques D_1 , D_2 y D_3 perseguían el objetivo de consolidar las vertientes inestables que existían en ese tramo. Se constató que efectivamente, casi todos los procesos de movimientos en masa fueron detenidos, a excepción del deslizamiento aguas arriba de los diques D_1 y D_2 . Este deslizamiento se encuentra relativamente estabilizado, pero podría reactivarse por un evento lluvioso extraordinario o por una crecida excepcional que socave la base del mismo. Los diques D_4 , D_5 , y D_6 tenían el objetivo de controlar focos de erosión localizados en la margen derecha, aguas arriba de los sitios en que se construyeron. Arriba del D_5 existía un sitio con erosión que se medía periódicamente. El tramo tratado ahora es estable, adicionalmente se ha logrado proteger la vía Sanare-La Gran Parada. Los 5 diques ejecutados aguas abajo del puente en la vía Sanare-La Gran Parada han cumplido su objetivo de estabilización, excepto el D_8 que se encuentra totalmente dañado. En la tabla 11, se muestra el resumen de los diferentes valores obtenidos en la evaluación de los daños, en los diques de las subcuencas quebrada La Negra y Blanca. Se destaca que en la quebrada Blanca existen dos diques, el dique QBD_0 y el QBD_8 con daños fuertes nivel 3, de acuerdo a la escala de valoración diseñada.

Tabla 11. Resumen con resultados de la evaluación de daños en los diques de las subcuencas quebrada Negra y Blanca

Descripción	ELEMENTOS				
	Fundamento	Cuerpo (incluyendo paramento aguas abajo)	Sección de flujo	Alas	Estribos
Subcuenca quebrada Negra					
Torrente: El Amparo					
<i>Dique (QN/QEAD₁)</i>	0	0	1	0	0
Torrente: quebrada Negra					
<i>Dique (QND₁)</i>	0	0	0	0	0
Subcuenca quebrada Blanca					
<i>Dique (QBD₀)</i>	2	3	3	3	2
<i>Dique (QBD₁)</i>	0	1	1	0	0
<i>Dique (QBD₂)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₃)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₄)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₅)</i>	0	1	1	0	0
<i>Dique (QBD₆)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique (QBD₇)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique (QBD₈)</i>	3	3	3	3	3
<i>Dique (QBD₉)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₁₀)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (QBD₁₁)</i>	0	1	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.- Subcuenca quebrada La Escalera

La subcuenca quebrada La Escalera drena actualmente a la quebrada Honda, pero en el futuro desaguará por separado directamente al embalse. Tiene en su parte superior un drenaje dendrítico, siendo las dos ramas principales, al Este, la quebrada La Concha y al Oeste, quebrada La Negra. Cuando ellas se unen, a una altitud de 950 msnm, forman la quebrada La Escalera. La zona de recepción del torrente y toda la margen derecha pertenece al Parque Nacional Yacambú. Se encuentra cubierta con bosque con

diferentes condiciones de intervención. Las vertientes son inestables por lo que durante los aguaceros se arrastran grandes volúmenes de sedimentos. Es una de las zonas más críticas, desde el punto de vista geológico y geomorfológico.

Torrente: Quebrada La Concha

El tratamiento aplicado en La Concha ha sido de 2 diques de consolidación, 2 contradiques y 2 traviesas para un total de 6 obras.

• **Dique 1 (QE/QCD₁)**

El dique (QE/QCD₁) fue construido en mampostería de gaviones el año 1999 y concluido en el 2000. Se ubica a una altitud de 1.500 msnm, en las coordenadas UTM Norte 1076501 y UTM Este 441487. Su propósito principal fue la consolidación de un movimiento en masa localizado en la margen derecha. Tiene 4,00 m de altura de caída y 1,50 de profundidad del fundamento. La altura de la sección de flujo es de 0,80 m. La sección de flujo es compuesta, con una base menor de 4,50 y una base mayor de 8,50. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba, escalonado. El espesor en la base es de 6,00 m. El cuerpo central del dique tiene un ancho de 18,00 m, el ala derecha una longitud de 10,50 m y la izquierda 8,80 m. Entre el dique y su próximo contradique existe una distancia de 7,00 m. Es una obra que presenta daños fuertes (calificación 3), por choques en la sección de flujo y en el ala derecha por desborde de la quebrada durante crecidas al momento en que se construía. La malla en un sector del cuerpo del dique está oxidada a punto de romperse. El dique presenta daños leves (calificación 1) por asentamiento diferencial y desgaste progresivo por fricción y oxidación. El asentamiento diferencial ha sido atenuado por los gaviones que son estructuras flexibles para solventar las diferencias en el asentamiento. El dique está protegido por un contradique y 2 traviesas. Ha estabilizado en la ladera un sector con un largo de 100,00 m y un ancho de 6,00 m. La pendiente de compensación de la cola de sedimentación es 5% y 70,00 m de longitud con ancho medio de 20,00 m. El volumen retenido estimado es 4.900 m³. El dique se encuentra orientado adecuadamente, de acuerdo al eje de

regulación. El contradique 1 tiene problemas en el ala derecha, debido a desborde de una crecida. La malla está oxidada. Tiene problemas de asentamiento. La traviesa 1 está destruida por los daños asociados a crecidas fuertes. Se localiza a 4,00 m aguas abajo del contradique 1. Fue ejecutada originalmente en mampostería gavionada y se reconstruyó en mampostería hidráulica. Existe una segunda traviesa de 1,00 m de altura, (o mejor llamar contradique) sin fundación, localizada a 21,00 m aguas abajo de la traviesa 1, tiene la malla en buen estado. Es una traviesa que no tiene ningún efecto sobre la consolidación de las tres estructuras localizadas aguas arriba. El reconocimiento de campo efectuado permitió concluir que el tramo influenciado por los efectos del dique QE/QCD₁ muestra estabilidad, habiéndose reducido la amenaza de transporte de sólidos, pero ciertamente, se trata de un sector geomorfológicamente muy activo.

• Dique 2 (QE/QCD₂)

El dique 2 se localiza a 1.339 msnm en la coordenada UTM Norte 1075685 y UTM Este 441553; fue construido en mampostería gavionada y se terminó en el año 2001. El propósito de este dique al igual que el anterior, fue estabilizar deslizamientos, que en este sitio existía a ambos lados del cauce. El dique tiene una altura de caída de 5,00 m. La altura de la sección de flujo es de 0,80 m. La sección de flujo es trapezoidal doble o compuesta con una base menor de 7,00 m y una base mayor de 10,80 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba, escalonado. El ala derecha tiene una longitud de 6,00 m y la izquierda de 7,00 m. Entre el dique y su contradique existe una distancia de 8,00 m. Es un dique que tiene problemas de socavación en el fundamento presentando daños a nivel moderado (calificación 2). El resto de los elementos no presentan problemas en su estabilidad. Una parte del sector se encuentra estabilizado. El área que se ha logrado controlar en la vertiente es pequeña, estimando una superficie de 400 m². La pendiente de compensación es 5% con una cola de 20,00 m de longitud y un ancho medio de 17,00 m. El volumen retenido estimado es de 350 m³. Los diques no presentan grietas, ni losas partidas, ni mallas metálicas rotas,

ni erosiones laterales en sus estribos. Las obras se encuentran operando de manera efectiva. Existe un contradique que tiene socavación de 1,00 m. Amerita ser demolido y construido con una altura mayor que permita la refundación del dique principal. El tratamiento aplicado en la quebrada La Concha corresponde a diques construidos de manera aislada. Tienen, en general, poca profundidad de fundación con el agravante de existir una intensa actividad hidráulica de socavación. Los contradiques no tienen fundamento adecuado por lo que requieren acciones de mantenimiento.

Torrente: La Negra

Se construyeron 5 diques aislados junto con 5 contradiques, 9 traviesas y 1 espigón, con el propósito de consolidar las vertientes inestables debido a socavación de tipo lateral. La información recabada de los 4 primeros diques ubicados en la parte superior de este torrente se utilizó para diseñar la planilla de evaluación del estudio.

• **Diques 1 al 4 (QE/QLND₁) al (QE/QLND₄)**

El dique QE/QLND₁ tiene 4,00 m de altura, es de gavión y está en buen estado. Posee una traviesa y un contradique, construidos originalmente junto con el dique en el año 1992. Posteriormente, en el año 1997 fueron reemplazados por 2 traviesas. Han requerido continuo mantenimiento. El dique QE/QLND₂ fue construido en 1992 en gavión con disposición de las hiladas con escalonamiento hacia abajo. Tiene 4,00 m de altura, posee un contradique de 2,00 m de altura y 5 traviesas. El dique 2 podría contribuir a la salida del curso del torrente en una crecida excepcional, lo que produciría erosión intensa aguas abajo. El dique QE/QLND₃ también de gavión, posee menos laterales de protección tanto aguas arriba como aguas abajo en ambos estribos. El dique 3 se encuentra en la peor situación. Este dique requiere mantenimiento en su sección de flujo (vertedero) y en la parte central de la obra, ya que parte de la malla del gavión se ha roto, con todo que fue revestida con lajas de roca con mortero de cemento. Tiene 2 traviesas que, igualmente, requieren de

mantenimiento. Entre el dique QE/QLND₂ y QE/QLND₃, existe un espolón de gavión que se ha doblado (son estructuras flexibles que soportan estas deformaciones) pero, sigue funcionando bien. El dique QE/QLND₄ tiene 4,00 m de altura con unos laterales, posee un contradique y 3 traviesas aguas abajo, todos en buenas condiciones. En todas las obras se ha empleado como material de construcción mampostería hidráulica (roca con mortero de cemento) y mampostería de roca gavionada (comúnmente llamado gavión). Todos los diques cumplen una función de contención en sitios donde se ubicaba un movimiento de masa, generalmente de tipo deslizamiento, originado por socavación lateral principalmente. En cuanto a la arquitectura de los diques de gavión, a partir del año 1998 se cambió su diseño colocado el escalonamiento, gradas de las hiladas de cajas, hacia el paramento aguas arriba, dejando el paramento exterior (aguas abajo) recto. Esta situación es más favorable al evitar el roce y choque del material de arrastre (rocas, troncos, etc.) sobre la malla del gavión, evitando de esta forma su desgaste y posterior rotura. Sin embargo, las obras ya existentes con la configuración inicial de 1992, es decir, con escalonamiento hacia abajo, requieren de continuo mantenimiento. De forma acertada se recubren con lajas de roca unidas con mortero de cemento de hasta 20 a 30 cm de espesor en algunos casos, pero con el tiempo estas también colapsan.

- **Dique 5 (QE/QLND₅)**

El dique 5 fue construido en el año 1998 en el torrente La Negra. Se localiza a una altitud de 1.126 msnm, en las coordenadas UTM Norte 1074741 y UTM Este 441572. El objetivo fue estabilizar deslizamientos en ambas márgenes del sitio en referencia. Lo refuerza 1 contradique y 1 traviesa de gavión, en ambos casos de sección simple. Tiene una altura de caída de 4,00 m sin profundidad del fundamento. La altura de la sección de flujo es de 1,00 m. La sección es trapezoidal compuesta. La base menor de la sección de flujo inferior tiene 4,30 m y la mayor de 4,90 m. La sección trapezoidal superior mide 8,00 y 8,80 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado. Las

dimensiones del ala derecha son de 6,80 de longitud la izquierda de 6,00 m. La distancia entre el dique y el contradique es 5,00 m. El ala derecha sobresale del terreno natural, posiblemente por una sobreestimación de la altura en relación a la cota natural de terreno.

El dique presenta daños leves (calificación 1) en la sección de flujo ocasionados por choques e impactos. El resto de los elementos no presentan ningún daño. Existe el riesgo que una crecida mayor de desborde por esta margen. Existe un contradique de gavión, en ambos casos de sección simple. El contradique no está alineado con el eje de la corriente, tampoco guarda paralelismo con el dique principal. La traviesa se encuentra destruida por volcamiento. En general, se ha logrado estabilizar un área pequeña en la margen derecha. La pendiente de compensación es 4% con una cola de 17,00 m de longitud y un ancho medio de 7,00 m.

Torrente: Quebrada La Escalera

El torrente quebrada La Escalera se forma por la confluencia de los torrentes La Concha y La Negra. Pocos metros aguas abajo de su confluencia, se ha construido un dique de consolidación.

• **Dique 1 (QED₁)**

El dique QED₁ se localiza a una altitud de 1.001 msnm y coordenadas UTM Norte 1074521 y UTM Este 441966. Fue construido entre los años 2001 - 2002, lo que indica que ha estado en funcionamiento durante los últimos 3 años. El objetivo fue estabilizar deslizamientos en ambas márgenes de las laderas adyacentes al sitio de construcción. Es un dique de 4,00 m de altura de caída, el cual se construyó en mampostería hidráulica. La altura de la sección de flujo es 0,80 m con una sección de flujo trapezoidal doble o compuesta que tiene una base menor de 6,00 m y la base mayor de 9,40 m. El paramento aguas abajo es escalonado y aguas arriba es vertical. El ala derecha tiene una longitud de 18,00 m y la izquierda de 10,90 m. La distancia entre el dique y el contradique es 10,00 m. El dique tiene problemas

graves en su estabilidad, el fundamento tiene bastante socavación, ocurre asentamiento diferencial en el cuerpo del dique. La sección de flujo está dañada por choques e impactos, las alas también se encuentran deterioradas. Todo lo anterior indica que se trata de una obra en estabilidad riesgosa. Los valores resultantes de la evaluación de daños dieron como resultado una medición fuerte (calificación 3) en todos los elementos del dique: fundamento, cuerpo, sección de flujo, alas y estribos. El contradique está en buenas condiciones. El área que se ha logrado estabilizar en la vertiente es pequeña. La pendiente de compensación es 5% con una cola de 23,00 m de longitud y un ancho medio de 13,00 m. En conclusión, en la subcuenca La Escalera, que incluye, quebrada La Concha y La Negra, existen 8 diques, 7 contradiques, 15 traviesas y un espolón. El objetivo de estas obras fue estabilizar sitios geomorfológicamente muy activos. En cuanto a funcionalidad y efectos logrados a la presente fecha, especialmente en quebrada La Concha, se ha logrado la estabilización con efectividad, según fue observado en el terreno.

3.2.4.- Subcuenca quebrada Honda

Esta subcuenca tiene el tributario más caudaloso que llega al río Yacambú con un comportamiento de río torrencial por su caudal y carga de sedimentos. Está localizada en el extremo oriental de la cuenca, con la mayor pluviosidad y erosividad y con mucha inestabilidad geológica. El control de torrentes de la empresa (SHYQ C.A.), se ha orientado en los últimos años, hacia las nacientes de quebrada Honda, habiéndose construido 11 diques de consolidación, 9 contradiques y 9 traviesas en 3 tributarios: Las Morochas, Las Rosas y las nacientes de quebrada Honda.

Torrente: Las Morochas

En su cauce principal se han construido 3 diques de consolidación en mampostería hidráulica, cada uno de ellos con un contradique, excepto el D₂ que no lo tiene.

• **Dique 1 (LH/LMD₁)**

El dique tiene el código LH/LMD₁ y se ubica en las coordenadas UTM Norte 445150 y UTM Este 1077268 a una altitud de 1.052

msnm. Se justificó porque la margen izquierda del torrente tenía problemas con deslizamientos. Se construyó en el año 2002, en mampostería hidráulica. El dique LH/LMD₁ perseguía el propósito de consolidar vertientes inestables que existían en ese tramo y mitigar daños por sedimentación en el cruce con la vía La Escalera - Plan del Nuezal, tramo que ahora presenta una estabilización evidente en un área de 2.000 m² en cada margen. La altura de caída es de 3,00 m con un fundamento de 1,00 m. El espesor en la corona es de 1,00 m. La sección de flujo es de tipo trapezoidal compuesta. El trapecio inferior tiene 3,80 m en la base menor y 4,90 en la base superior. El trapecio superior tiene dimensiones de 5,90 y 6,90 m, respectivamente. La altura total de la sección de flujo es de 1,00 m. El ala derecha es 4,40 m y la izquierda 0,50 m que conecta directamente con un estribo rocoso. El paramento aguas arriba, al igual que el dique anterior, es vertical y aguas abajo, escalonado. A 11,00 m aguas abajo de este dique, está construido un contradique que tiene las funciones de protección contra la socavación de fondo. La evaluación del dique, indica que la obra sólo tiene problemas moderados (calificación 2) en el cuerpo, vinculados al desgaste progresivo en el paramento aguas abajo, asociado al impacto de las rocas en los momentos de crecidas sobre el paramento escalonado. El primer escalón tiene daño en un 25%. El escalón correspondiente a la fundación presenta daños en un 75%, lo que sugiere que sea incorporado en un futuro plan de mantenimiento de las obras. El dique se encuentra en buen estado, sólo con daños leves. Tiene buena orientación de acuerdo al eje de regulación y no presenta problemas de socavación ni de asentamiento. La pendiente de compensación de 2% y una cola de 105,00 m. Se estima un volumen retenido de 2.200 m³. En cuanto a las vertientes se observa que hay un control del deslizamiento de la margen izquierda, la cual se encuentra ya estabilizada, en una superficie estimada de 3.100 m². La estabilización tiene efectos directos sobre una superficie mayor en toda la vertiente. El dique posee un contradique de sección de flujo trapezoidal compuesta con una altura de caída de 1,00 m. El tirante tiene 1,00 m. El paramento aguas arriba es vertical y aguas abajo es escalonado.

No presenta ningún problema en cuanto a su estabilidad actual y está cumpliendo adecuadamente la función de reforzar el fondo del cauce para evitar socavación del dique principal.

• **Dique 2 (LH/LMD₂)**

El dique LH/LMD₂ cuyo código es LH/LMD₂ se localiza en las coordenadas UTM Norte 1077135 y en las coordenadas UTM Este 445515 a una altitud de 1.022 msnm. Su objetivo principal era la estabilización de la vertiente en la margen izquierda, que estaba en situación de inestabilidad en una longitud aproximada de 100,00 m, y la protección de la carretera hacia La Escalera y el Plan del Nuezal. Actualmente el deslizamiento se encuentra consolidado, inclusive con un efecto favorable sobre una superficie mayor. Fue construido en mampostería hidráulica el año 2002. Tiene una altura de caída de 6,00 m con una profundidad del fundamento de 1,00 m. El espesor en la corona es de 1,00 m. La sección de flujo es de tipo trapezoidal compuesta, siendo la base menor de 4,00 m que abre hasta 5,00 con una altura de la sección de flujo de 0,50 m. La sección trapezoidal superior tiene una base menor de 7,00 m y una base mayor de 8,00 m, con una altura de la sección de flujo de 0,50 m. La longitud del ala izquierda es 3,60 m y del ala derecha 10,00 m. El paramento aguas arriba es vertical y aguas abajo es escalonado. No tiene contradique, ya que existe un tramo rocoso inmediatamente aguas abajo. La estabilidad actual del dique, aplicando la planilla diseñada, indican que el dique presenta daños leves (calificación 1) en su cuerpo por desgaste progresivo por fricción y oxidación, asociado a la fricción y con impacto sobre los escalones del paramento aguas abajo. Como se observa, el dique no tiene problemas de socavación ni de fondo ni lateral. Tampoco presenta problemas de asentamiento. Se encuentra orientado según el eje de regulación; en general, el dique está en buenas condiciones. Es un dique de consolidación que ha generado una pendiente de compensación de 2% y una cola de sedimentación de 208,00 m. El volumen estimado retenido directamente por el dique es de 6.000 m³. Este dique que tiene una función de consolidación, ha logrado estabilizar en forma directa en cada margen un área de 2.000 m² que ha contribuido

a consolidar las vertientes en un 100%, las cuales se encuentran recuperadas por vegetación secundaria. Se ha logrado también la protección de la vía.

• **Dique 3 (LH/LMD₃)**

En la cercanía de la confluencia de quebrada Las Morochas con quebrada Las Rosas existe un pequeño tributario llamado "Jacinto". En este torrente fue construido un pequeño dique de consolidación de 3,00 m de altura en mampostería hidráulica que tuvo el propósito de estabilizar un deslizamiento pequeño en la margen derecha. Esta obra se encuentra en buenas condiciones de estabilidad y funcionalidad y ha contribuido a consolidar a la pequeña ladera frágil, presentando ningún daño (calificación 0).

Torrente: Las Rosas

En este torrente tributario a quebrada Honda, se han construido 2 diques de consolidación, 1 contradique y 1 traviesa.

• **Dique 1 (LH/QLRD₁)**

El dique un LH/QLRD₁ se localiza en las coordenadas UTM Este 446016 y UTM Norte 1078105, a una altitud de 1.183 msnm construido en mampostería gavionada. Tiene una altura de caída de 6,00 m con un fundamento de 1,00 m. La corona es de 1,00 m. La sección de flujo es de tipo trapezoidal compuesta. El trapecio inferior es de 8,00 m en la base menor y 9,00 en la superior. Las dimensiones del trapecio superior son de 11,00 y 12,00 m respectivamente. La altura total de la sección de flujo es de 1,00 m. El ala derecha presenta una longitud de 10,00 m y la izquierda de 8,00 m. El paramento aguas arriba es escalonado y aguas abajo vertical, lo que disminuye los daños por la caída de la lámina vertiente en los escalones del paramento. A 18,00 m aguas abajo, existe un contradique cuyas funciones son de protección contra la socavación de fondo. El dique presenta una buena orientación de acuerdo al eje de regulación. El dique no presenta ningún daño que comprometa su estabilidad (calificación del daño 0). La pendiente de compensación de 4% generada durante las primeras crecidas después de su terminación ha creado

una cola de azolvamiento de longitud de 60,00 m. El volumen retenido hasta el momento es aproximadamente 1.800 m³, pero es conveniente destacar que aún falta por azolver 1,00 m de la altura del dique. Se empieza a detectar la estabilización de dos pequeños deslizamientos en la margen izquierda con estabilidad parcial en un 80%. Se han construido en el año 2002 un contradique y una traviesa de mampostería gavionada con el propósito de proteger el dique LH/QLRD₁. El primero está localizado a una separación de 18,00 m del dique principal. Tiene una altura de 2,00 m con sección trapezoidal compuesta. No tiene ningún daño y está cumpliendo adecuadamente las funciones de proteger al dique principal contra la socavación de fondo. La traviesa tiene 1,00 m de caída y 2,00 m de espesor en la corona. La sección de flujo es trapezoidal simple con base de 7,20 y 8,10 m, respectivamente. La altura de la sección de flujo es de 0,50 m. El paramento aguas arriba es un cuerpo de 2,00 m de ancho y aguas abajo es vertical. No tiene ningún daño y cumple adecuadamente las funciones de protección a la socavación.

• **Dique 2 (LH/QLRD₂)**

Está ubicado en las coordenadas UTM Este 445642 y UTM Norte 1077132, a una altitud de 1.026 msnm. Fue construido en mampostería hidráulica con el propósito de estabilizar la vertiente en la margen izquierda que presentaba desplazamientos e inestabilidad. Posee una altura de caída de 2,00 m. El espesor en la corona es de 1,00 m. La sección de flujo es trapezoidal doble, teniendo la sección trapezoidal inferior 4,00 m en la base inferior y 4,90 m en la superior. El trapecio superior tiene 5,80 m y 6,80 m en sus dos bases respectivamente. El ala izquierda tiene una longitud de 4,00 m y la derecha 9,00 m. La inclinación del paramento aguas arriba es vertical y escalonada, aguas abajo. Este dique tiene una condición de fuerte desgaste progresivo en el cuerpo, en el paramento aguas abajo (calificación 3). Se observó una socavación de fondo en el fundamento, daños leves (calificación 1) aunque el dique se construyó sobre unos afloramientos rocosos. Ha creado un pequeño volumen de azolvamiento de 400 m³; las rocas dominantes tienen un diámetro medio entre 10 y 30 cm. La pendiente de compensación es de 3%

con una pequeña cola de sedimentación de 27,00 m. El dique ha estabilizado 600 m² en la margen izquierda lo que representa un 80% del área inestable con invasión de vegetación nativa. Pero aún persiste un sector pequeño inestable en la parte superior del deslizamiento.

Torrente: Nacientes quebrada Honda

Este torrente es el drenaje superior de la subcuenca quebrada Honda. En cada uno de los sitios donde se construyeron los diques existían problemas de desestabilización de vertientes. En el torrente quebrada Honda se construyeron 6 diques de consolidación, 6 contradiques y 8 traviesas para un total de 20 obras. Fueron construidos en gaviones utilizando malla Macafferri, entre los años 2001 a 2003.

• **Dique 1 (LH/QHD₁)**

El dique LH/QHD₁ se ubica en las coordenadas UTM Este 447691 y UTM Norte 1078532, a una altitud de 1.328 msnm. Fue construido en el año 2001. Tiene un contradique de protección. El objetivo era controlar el proceso erosivo existente en las inmediaciones del sitio de construcción de la obra. El dique fue construido en mampostería gavionada y, al igual que los otros diques de este torrente; tiene una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado, sección que le brinda una mayor protección al dique contra la socavación producida por la lámina vertiente. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. La profundidad del fundamento es de 1,00 m. La distancia entre el dique y el contradique es 14,00 m. El dique no presenta daños (calificación 0) en ninguna de las partes que lo conforman. Existe una traviesa, destruida parcialmente por una crecida, pero fue reconstruida utilizando mampostería hidráulica en la zona afectada. El dique se encuentra colmatado, con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 2 (LH/QHD₂)**

El dique LH/QHD₂ se ubica en las coordenadas UTM Este 447736 y UTM Norte 1078473, a una altitud de 1.316 msnm. Fue

construido en el año 2001. Tiene un contradique y 2 traviesas de protección. Es de mampostería gavionada y al igual que los otros diques de este torrente, tiene una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado, sección que le brinda una mayor protección al dique contra la socavación producida por la lámina vertiente. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m.

El dique no presenta daños (calificación 0) en ningún elemento que conforma la estructura del dique. Se encuentra colmatado con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 3 (LH/QHD₃)**

El dique LH/QHD₃ se ubica en las coordenadas UTM Este 447752 y UTM Norte 1078442, a una altitud de 1.296 msnm. Fue construido en el año 2002. Tiene un contradique y 2 traviesas de protección. El dique fue construido en mampostería gavionada y al igual que los otros diques de este torrente, tiene una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba es escalonado, sección que le brinda una mayor protección al dique contra la socavación producida por la lámina vertiente. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. El dique tiene socavación de fondo de 0,50 m en el fundamento originando una valoración leve (calificación 1) en esta parte del dique. El contradique y las 2 traviesas, estas últimas, con una altitud de 1,00 m tienen acentuado proceso erosivo de fondo y se encuentran con las losas partidas en la sección de flujo. La segunda traviesa no tiene fundación. El dique se encuentra colmatado, con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 4 (LH/QHD₄)**

El dique LH/QHD₄ se ubica en las coordenadas UTM Este 447851 y UTM Norte 1078289, a una altitud de 1.240 msnm. Fue construido en el año 2002. Tiene un contradique y 2 traviesas de protección. Dique en gavión con una altura de caída de 4,00 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba escalonado. La

sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. Se estimó la profundidad del fundamento es de 1,00 m. Las observaciones de campo determinaron que el dique en general no tiene daño, excepto una leve socavación en el fundamento (calificación 1). El dique se encuentra colmatado, con una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 5 (LH/QHD₅)**

El dique LH/QHD₅ se ubica en las coordenadas UTM Este 447923 y UTM Norte 1078214, a una altitud de 1.218 msnm, inmediatamente aguas arriba de la carretera. Es un dique de mampostería gavionada, con una altura de caída de 4,00 m, el paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba escalonado. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,0 m. La profundidad del fundamento es de 1,00 m. Tiene un contradique y una traviesa. El dique se encuentra en buen estado y no presenta daños. La estructura está en buenas condiciones. No se observan procesos de socavación ni laterales ni de fondo, no presenta ningún daño en ninguna parte del dique. El dique fue colmatado en el primer año de vida. Tiene una pendiente de azolvamiento del 3%.

• **Dique 6 (LH/QHD₆)**

El dique LH/QHD₆ se localiza en las coordenadas UTM Este 447925 y UTM Norte 1078155, a una altitud de 1.206 msnm, aguas abajo de la carretera. Es un dique de mampostería gavionada utilizando malla Macafferri construido en el año 2003, con una altura de caída de 4,00 m. El paramento aguas abajo es vertical y aguas arriba escalonado. La sección de flujo es trapezoidal compuesta. La altura de la sección de flujo es 1,00 m. La profundidad del fundamento se estimó en 1,00 m. no tiene traviesa por cuanto aguas abajo existe un sector rocoso. No presenta ningún tipo de daños y la estructura está en muy buenas condiciones (calificación 0). No se observan procesos de socavación ni laterales ni de fondo y la malla se encuentra en buen estado. No presenta grietas, losas partidas, mallas metálicas rotas o erosiones laterales en sus estribos. Con relación a la

funcionalidad de los diques, estos cumplen adecuadamente el objetivo como obra de consolidación. El propósito fundamental de este tipo de obra ha sido la consolidación de laderas frágiles más que la retención de material sólido de arrastre.

En la tabla 12 se muestra el resumen de los daños evaluados en los diques de las subcuencas La Escalera y La Honda.

Tabla 12. Resumen evaluación de daños en los diques de las subcuencas quebrada La Escalera y Honda.

Descripción	ELEMENTOS				
	Fundamento	Cuerpo (incluyendo paramento aguas abajo)	Sección de flujo	Alas	Estribos
Subcuenca quebrada La Escalera					
Torrente: La Concha					
<i>Dique 1 (QE/QCD₁)</i>	0	1	3	0	0
<i>Dique 2 (QE/QCD₂)</i>	2	0	0	0	0
Torrente: La Negra					
<i>Diques 1 al 4 (QE/QLND₁) al (QE/QLND₄)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 5 (QE/QLND₅)</i>	1	0	1	0	0
Torrente: La Escalera					
<i>Dique 1 (QED₁)</i>	2	3	3	3	0
Torrente: Las Morochas					
<i>Dique 1 (LH/LMD₁)</i>	0	2	0	0	0
<i>Dique 2 (LH/LMD₂)</i>	0	1	0	0	0
<i>Dique (LH/LMD₃)</i>	0	0	0	0	0
Torrente: Las Rosas					
<i>Dique 1 (LH/QLRD₁)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 2 (LH/QLRD₂)</i>	1	3	0	0	0
Subcuenca quebrada Honda					
Torrente: Nacientes quebrada Honda					
<i>Dique 1 (LH/QHD₁)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 2 (LH/QHD₂)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 3 (LH/QHD₃)</i>	1	0	0	0	0
<i>Dique 4 (LH/QHD₄)</i>	1	0	0	0	0
<i>Dique 5 (LH/QHD₅)</i>	0	0	0	0	0
<i>Dique 6 (LH/QHD₆)</i>	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones generales

1. Se han construido 84 obras de control de torrentes, siendo 32 diques de consolidación, 1 dique de retención de sedimentos, 21 contradiques, 29 traviesas y 1 espigón. Se han ejecutado obras en 9 torrentes, correspondientes a 4 subcuencas. La mayoría están ubicadas en quebrada Blanca, nacientes de quebrada Honda y quebrada La Negra, donde se localiza el 83% de ellas. En las dos últimas subcuencas ocurren procesos torrenciales muy intensos. La quebrada Blanca es el torrente donde existe tratamiento con mayor número de diques.
2. El programa ha perseguido, principalmente, el objetivo de consolidar laderas inestables, impedir el aporte de material sólido al cauce y proteger vías, como es el caso del dique en el torrente El Amparo. Ha dominado un objetivo evidente de consolidación de laderas inestables, es decir, "diques de consolidación" con altura generalmente de 4,00 m. El dique localizado en quebrada Negra en la cota 1.536 msnm es el único que tiene función directa de retención de sedimentos.
3. En cuanto a funcionalidad y efectos logrados se concluye que el 87% de los 32 diques de consolidación lograron estabilizar sitios de movimientos en masa. Estos lugares, antes de la construcción de las obras, eran laderas inestables que hubiesen aumentado el volumen de sedimentos transportables aguas abajo hacia el río Yacambú. Ha sido un logro significativo en términos del control de erosión y sedimentación. La mayoría de los diques han logrado el propósito de estabilizar sitios muy inestables y evitar socavación de cauces en los tramos tratados.
4. Varios diques han protegido tramos de vías contribuyendo al mantenimiento del tránsito, lo que es indispensable para las operaciones de construcción de la empresa Sistema Hidráulico Yacambú Quibor C.A., y para el desarrollo económico de las comunidades asentadas en la cuenca, facilitando el intercambio comercial y el desarrollo ecoturístico del área.
5. Es necesario resaltar la necesidad de fortalecer el programa de mantenimiento y de reconstrucción de algunas de las obras dañadas por los impactos de las fuertes crecidas torrenciales.

La condición actual de los 33 diques construidos indica que el 70% se encuentra en buenas condiciones y 12% presenta daños menores. Son las obras de protección a los diques, las que requieren mantenimiento prioritariamente, porque 28% de los contradiques y 13% de las traviesas tiene problemas en la sección de flujo, en el fundamento o en el cuerpo. Es necesario resaltar que, todas estas obras están sujetas a los impactos de fuertes crecidas con arrastre de sedimentos, por lo que un programa anual de mantenimiento con presupuesto asignado es siempre necesario.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a la Empresa Sistema Hidráulico Yacambú - Quíbor C.A. (SHYQ C.A.), por aportar los recursos para la realización de este trabajo. Al Ministerio del Ambiente y de Los Recursos Naturales (MARN) Mérida en la persona del Ing. Ramón Prieto (+) por sus ideas y apoyo. A la Unidad de Prestación de Servicios Forestales, Geográficos y Agropecuarios de la Universidad de Los Andes (UFORGA-ULA), por su valiosa colaboración prestada.

Referencias bibliográficas

- Ingenieros De Santis C.A. 1991. **Estudio geológico – geomorfológico y de vulnerabilidad de la cuenca del río Yacambú, estado Lara.** Barquisimeto. Caracas. 568 p.
- Ingenieros De Santi C.A. 1995. **Informe preliminar sobre problemas de inestabilidad que afectan negativamente algunos tramos carreteros dentro de la cuenca de Yacambú, Municipio Andrés Eloy Blanco, Estado Lara.** Caracas. 102 p.
- Ingenieros De Santis, C.A. 2001. **Seguimiento de los procesos sedimentarios erosivos de las Quebradas Negra, Honda y Escalera, Cuenca del río Yacambú, Municipio Andrés Eloy Blanco, Estado Lara. Informe final de las Mediciones del año 2001.** Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor, C.A. Caracas. 80 p.

- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C.A.) 1990. *Diagnóstico general de la cuenca aportante al Embalse Yacambú. Barquisimeto*. Venezuela. 80 p.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C.A.). 1998. *Plan de Conservación de la Cuenca del Río Yacambú. Diciembre 1998. Barquisimeto*. Venezuela. 140 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1981. **Conservation Guide 6. Torrent Control Terminology**. Roma. 120 p.
- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C.A – Unidad de Prestación de Servicios Forestales Agropecuarios y Ambientales 2005. *Programa para el manejo integral de los procesos erosivos y sedimentarios de la cuenca aportante al embalse Yacambú. Edo. Lara*. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela. 350 p.
- Sistema Hidráulico Yacambu-Quibor C. A. Gutiérrez F. 1998. *Estudio para el control de torrentes en las quebradas afluentes de la cuenca de Quebrada Honda*. SHYQCA. Barquisimeto. Venezuela. 80 p.

ENSAYOS

E S S A Y S

Aspectos de los Estudios de Impacto Ambiental en Proyectos de Generación Eléctrica con Biomasa Residual

Issues to consider in the Environmental Impact Assessment in projects of Residual Biomass Power Generation

Yorley Bracho*

Recibido: 18-01-2013

Aceptado: 05-08-2013

Resumen

Como un aporte al conocimiento del procedimiento en los estudios de evaluación de impacto ambiental en proyectos de generación eléctrica con biomasa residual, se realizó un análisis de complementariedad de los diferentes aspectos considerados en el contexto mundial por diversos autores e instituciones. Se encontraron 16 experiencias, en cada uno de los casos se presentaron los aspectos considerados, pudiéndose observar que existe una metodología general de trabajo para la elaboración de los estudios de evaluación de impacto ambiental, con las variantes particulares que se presentan de acuerdo al criterio del autor.

Palabras clave: Estudio de Evaluación Impacto Ambiental, Aspectos, Biomasa, Generación Eléctrica, Evaluación Ambiental, Experiencia.

Abstract

As a contribution to the knowledge of the procedure on environmental impact assessment studies of generation projects with residual biomass, an analysis of complementarity of the various aspects considered in the global context by various authors and institutions was conducted. We found 16 experiences, in each case the considered

* Personal de Investigación. Instituto Forestal Latinoamericano. Mérida, Venezuela. E-mail: jbracho@ifla-ve.org

aspects were presented, it can be observed that there is a general methodology for the preparation of studies of environmental impact assessment, with particular variants that are presented according to the criterion of the author.

Key words: Environmental Impact Assessment Study, Aspects, Biomass, Power Generation, Environmental Assessment, Experience.

Introducción

En la actualidad, uno de los problemas que se presentan es el progresivo deterioro ambiental tanto local, regional como global, relacionado con las actividades que el ser humano realiza para satisfacer sus necesidades como son las relacionadas a la obtención de productos y de servicios, tal como lo es la generación de energía eléctrica.

Los seres humanos han reconocido las consecuencias ambientales que tienen las diferentes actividades que realizan, llevándolos a desarrollar distintas herramientas que permiten un manejo más adecuado del ambiente; una de ellas es la gestión ambiental, mejor llamada hoy día como evaluación de impacto ambiental que permite incorporar la variable ambiental en diferentes etapas del proceso de toma de decisiones referente a las distintas alternativas que se pueden desarrollar o aplicar.

Cada actividad o proyecto genera alteración del medio donde se desarrolla, ya sea positiva o negativa, en este caso, la energía eléctrica generada con biomasa residual no está exenta de producir impactos en el ambiente, es por ello que en diferentes países donde se ha desarrollado este tipo de generación se han aplicado procedimientos de evaluación ambiental a fin de determinar la viabilidad ambiental de este tipo de generación.

En todos los países, existen diferentes requerimientos que son exigidos por parte de las distintas administraciones públicas encargados del cuidado y protección del ambiente para cualquier tipo de proyecto. Los proyectos de generación de energía eléctrica

con biomasa residual, a pesar de denominarse proyectos de energías limpias por usar como materia prima recursos renovables, también deben cumplir con dichos requerimientos, lo que ha llevado a la necesidad de aplicar diferentes herramientas de gestión ambiental para cumplir con las leyes, normas, decretos o resoluciones legales vigentes.

Con el propósito de identificar los diferentes aspectos que deben ser considerados en los estudios de impacto ambiental, inicialmente se exponen varios conceptos de evaluación de impacto, posteriormente se presentan los procedimientos que conforman un estudio de impacto ambiental diseñados por 16 autores e instituciones, diferenciando claramente los estudios de impacto ambiental para cualquier tipo de proyecto y los referentes a generación de energía eléctrica con biomasa residual. A fin de mostrar la estructura que normalmente comprenden estos estudios, se realiza un análisis de complementariedad basado en una matriz que permite identificar ordenadamente los elementos en común y relevantes considerados por los autores e instituciones en diferentes países, esta información se obtuvo de la revisión bibliográfica realizada y de la experiencia propia desarrollada en los estudios de impacto ambiental.

Evaluación de Impacto Ambiental

Para tener claro los términos de Evaluación Ambiental y Evaluación de Impacto Ambiental, a continuación se dan conceptos y terminologías que son consideradas por diferentes autores, Normas y Leyes.

En Venezuela, la Ley Orgánica del Ambiente (2006), establece como instrumento de Evaluación Ambiental, la Evaluación de Impacto Ambiental, por lo tanto, en este ensayo ambos términos serán utilizados de manera análoga. Y en el Artículo 3, la evaluación de impacto ambiental debe entenderse como *“...un proceso de advertencia temprana que opera mediante un análisis continuo, informado y objetivo que permite identificar las mejores opciones para llevar a cabo una acción sin daños intolerables, a través de*

decisiones concatenadas y participativas, conforme a las políticas y normas técnicas ambientales”, Tal como lo indica Gómez (2002), la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), es uno de los principales instrumentos de gestión ambiental que se introdujo por primera vez en la National Environmental Policy Act (NEPA) en la década de 1960. A partir de este precedente se extendió a numerosos países que la han aplicado con distinto rigor, formulando diversas herramientas para ejecutar la evaluación, tales como: Evaluación Ambiental Estratégica (para Políticas, Planes y Programas), Evaluación de Impacto Ambiental (para Proyectos), y Evaluación Ambiental Específica (para Actividades).

En Venezuela, según la Norma sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (1996), se establece en el Título 1, Artículo 2, que *“La evaluación ambiental se cumplirá como parte del proceso de toma de decisiones durante la formulación de políticas, planes, programas y proyectos de desarrollo, a los fines de la incorporación de las variables ambientales en todas sus etapas.”.*

Para Conesa (1997), la Evaluación de Impacto Ambiental es un proceso que atiende a dos vertientes complementarias; por un lado establece el procedimiento jurídico - administrativo para la aprobación, modificación o rechazo de un proyecto o actividad, por parte de la administración; por el otro, trata de elaborar un análisis encaminado a predecir las alteraciones que el proyecto o actividad puede producir en la salud humana y el medio ambiente.

Aspectos considerados para la evaluación ambiental en cualquier tipo de proyectos en diferentes países

En Argentina, Dellavedova (2011), en su guía metodológica intenta brindar los instrumentos mínimos necesarios para poder elaborar una evaluación de impacto ambiental, y éstos son:

1. Análisis del proyecto y sus alternativas.
2. Definición del entorno del proyecto, posterior descripción y estudio del mismo.

3. Previsiones de los efectos que el proyecto generará sobre el medio.
4. Identificación de las acciones que pueden causar impacto.
5. Identificación de los factores ambientales del entorno susceptibles de recibir impactos.
6. Identificación de relaciones causa - efecto entre acciones del proyecto y factores del medio.
7. Valoración cualitativa del impacto.

En España, Conesa (1997), sintetiza en las siguientes fases los estudios de impacto ambiental:

1. Análisis del proyecto y sus alternativas.
2. Definiciones del entorno del proyecto.
3. Previsiones de los efectos que el proyecto genera sobre el medio.
4. Identificación de las acciones del proyecto potencialmente impactantes.
5. Identificación de los factores del medio potencialmente impactado.
6. Identificación de relaciones causa-efecto entre acciones y factores del medio.
7. Predicción de la magnitud del impacto sobre cada factor.
8. Valoración cuantitativa del impacto ambiental.
9. Definición de las medidas correctoras, precautorias y compensatorias.

En Venezuela, el CIDIAT (2009), consideró los siguientes aspectos para la evaluación de impacto ambiental:

1. Introducción, Objetivos, Alcance y premisas para la EIA.
2. Descripción del proyecto (descripción de componentes, balances de procesos involucrados, identificaciones de las acciones capaces de degradar el ambiente, ocupación del territorio, afectación de recursos naturales).
3. Definición del área de influencia del proyecto.
4. Caracterización y sensibilidad ambiental del área de influencia del proyecto.

5. Identificación, selección, descripción y evaluación de impactos ambientales.
6. Medidas de Control Ambiental.
7. Programa de seguimiento.
8. Plan de Supervisión Ambiental.

En Perú, el Viceministerio de Turismo (2005), establece los siguientes aspectos como parte de la estructura para un estudio de impacto ambiental:

1. Descripción General del Proyecto.
2. Descripción Técnica del Proyecto.
3. Descripción del área de influencia.
4. Identificación de los efectos que dan origen al EIA.
5. Descripción de la Participación Ciudadana.
6. Predicción y Evaluación de los Impactos Ambientales.
7. Planes de Prevención.

En Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), expone que los lineamientos que deben ser tenidos en cuenta por parte de los usuarios para la presentación de estudios ambientales son los siguientes:

1. Especificaciones Técnicas de estudio.
2. Zonificación Ambiental.
3. Evaluación Ambiental.
4. Zonificación del manejo ambiental.
5. Plan de manejo ambiental.
6. Programa de monitoreo y seguimiento.

Por su lado, en Chile Espinoza (2001), presenta un esquema teórico de cómo se expresaría un proceso de EIA en un nivel operativo. Las etapas cruciales son:

1. Identificación y clasificación.
2. Preparación y análisis.
3. Calificación y decisión.
4. Seguimiento y control.

Aspectos considerados para la evaluación ambiental en proyectos de generación eléctrica con biomasa residual

En Chile la Comisión Nacional de Energía y de Medio Ambiente de Chile (2007), establece que el procedimiento de evaluación ambiental de un proyecto de generación de energía eléctrica que utiliza biomasa o biogás como combustible debe estar conformado por los siguientes contenidos formales:

1. Descripción del proyecto.
2. Plan de cumplimiento de la legislación ambiental aplicable y permisos sectoriales.
3. Descripción de los efectos, características o circunstancias que obligan la presentación del EIA.
4. Caracterización de la línea base.
5. Predicción y evaluación de impactos ambientales negativos y positivos.
6. Plan de medidas de mitigación, reparación y/o compensación.
7. Plan de seguimiento.
8. Fichas resúmenes de los principales contenidos del EIA.
9. Descripción de las acciones de participación ciudadana ejecutadas y por ejecutar.

En España, BIOFOREST BOST S.L.U. (2009), en el documento del proyecto técnico y estudio de impacto ambiental para la planta de biomasa forestal en Errigoiti, establece que el procedimiento de evaluación de impacto ambiental debe estar estructurado de la siguiente manera:

1. Características generales de la actividad y de las acciones de la misma susceptibles de generar impactos ambientales.
2. Utilización y consumo de recurso y energía.
3. Descripción y cuantificación de emisiones.
4. Generación y gestión de residuos.
5. Condiciones de explotación y otras medidas para evitar el deterioro del medio ambiente.
6. Situación del suelo.

7. Identificación y valoración de impactos.
8. Programa de vigilancia ambiental.
9. Medidas preventivas y condiciones de funcionamiento en situaciones distintas a las normales.

En España, Botija (2011), en su tesis de grado establece que los proyectos de este tipo que requieran una evaluación de impacto ambiental, deben incluir al menos los siguientes puntos:

1. Descripción general del proyecto y exigencias previsibles en el tiempo, con relación a la utilización del suelo y de otros recursos naturales. Estimación de los tipos y cantidades de residuos vertidos y emisiones de materia o energía resultantes.
2. Una exposición de las principales alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos ambientales.
3. Evaluación de los efectos previsibles directos o indirectos del proyecto sobre la población, la flora, la fauna, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el paisaje y los bienes materiales, incluido el patrimonio histórico artístico y el arqueológico. Asimismo, se atenderá a la interacción entre todos estos factores.
4. Medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.
5. Programa de vigilancia ambiental.
6. Resumen del estudio y conclusiones en términos fácilmente comprensibles. En su caso, informe sobre las dificultades informativas o técnicas encontradas en la elaboración del mismo.

En Ecuador, el Consejo Nacional de Electricidad Ecuador (CONELEC) (2005), establece que una adecuada evaluación de impacto ambiental contiene los siguientes elementos:

1. La descripción del proyecto o actividad, destacando los componentes y etapas en los que se presentan causales o factores generadores de impactos ambientales.
2. La legislación ambiental y la institucionalidad aplicables.
3. La descripción del área de influencia del proyecto, con el fin de estimar su sensibilidad ambiental frente al proyecto o actividad.

4. La identificación y caracterización preliminar de los impactos ambientales, a fin de focalizar la atención en aquellos de mayor significación.
5. La identificación y caracterización preliminar de las medidas de prevención, mitigación y compensación.
6. El análisis de las alternativas del proyecto o actividad, a fin de seleccionar aquella que sea más sustentable, es decir, la más adecuada desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental.
7. La identificación y caracterización de las comunidades y actores sociales afectados e interesados en el proyecto, a fin de involucrarlos en la revisión de los resultados de la evaluación preliminar y de la propuesta para realizar la evaluación ambiental a mayor detalle.
8. La clasificación ambiental del proyecto o actividad, sobre la base de la significación de los impactos ambientales potenciales y la complejidad de las medidas de prevención, mitigación y compensación a aplicarse.
9. El contenido y alcance de la evaluación de impacto ambiental definitiva, cuando esta es necesaria.

En Chile, el Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile (2012), proponen que los factores que determinan un buen estudio de impacto ambiental son:

1. Descripción del proyecto.
2. Identificación de las acciones o actividades que interactúan con los componentes ambientales del lugar.
3. Identificación, cuantificación de los impactos ambientales.
4. Medidas de mitigación, compensación o reparación.

En Cuba, Garzón (2010), indica que para la realización de una evaluación de impactos ambientales no existe un método general; cada metodología se refiere a impactos ambientales específicos y ninguno de los métodos se encuentra completamente desarrollado debido precisamente a la especificidad e imposibilidad de generalizar una determinada metodología, el propone el método

de análisis de ciclo de vida (ACV), como una herramienta de gestión medioambiental para la realización de la evaluación de impacto ambiental y éste debe estar estructurado de la siguiente manera:

1. Alcances del estudio.
2. Análisis de Inventario de Ciclo de Vida.
3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.
4. Evaluación e Interpretación.

En Uruguay, EcoMetrix Incorporated (2010), en la Evaluación Ambiental y Social de Desarrollo de Celulosa y Energía Punta Pereira (CEPP), considera los siguientes aspectos:

1. Descripción del Proyecto.
2. Marco Social y Ambiental.
3. Efectos Sociales y ambientales.
4. Gestion Ambiental y Social.

En España, Risalde (2006), consideró que los criterios para adoptar la decisión de evaluar o no los proyectos y los planes y programas de iniciativa privada deben contener:

1. Descripción general del proyecto.
2. Exigencias previsibles con relación a la utilización el suelo y de otros recursos naturales.
3. Descripción aplicada a la fase de construcción, tipos y cantidades.
4. Estimación aplicada a la fase de funcionamiento, tipos y cantidades.
5. Alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos ambientales.
6. Evaluación de los efectos previsibles, directos e indirectos.
7. Medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.
8. Programa de vigilancia ambiental, control y seguimiento.

9. Normativa ambiental que deba ser tenida en cuenta.
10. Dificultades informativas o técnicas encontradas para complementar estos datos y efectuar estas valoraciones.

Por su lado, Gil (2005), en Cuba establece las siguientes recomendaciones para realizar la evaluación de impacto ambiental del uso de bagazo de caña como fuente de energía en los centrales azucareros:

1. Definición de objetivos y alcances del estudio.
2. Análisis técnico y ambiental de la instalación.
3. Caracterización del entorno que rodea la instalación.
4. Identificación de las acciones de la instalación que producen impacto y elementos susceptibles a cambios.
5. Opinión pública de personas naturales jurídicas posibles afectadas.
6. Identificación, valoración y predicción de los impactos.

En Guatemala, Quezada (2005), consideró los siguientes elementos en el informe de Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto de "Siembra de caña, construcción de un ingenio azucarero para la producción y venta de azúcar y desarrollo de una planta generadora de energía eléctrica:

1. El proyecto agroindustrial, energético y su perfil socio-económico y ambiental.
2. Síntesis de indicadores socio-económicos y culturales del municipio de panzos.
3. Percepción social municipal sobre el proyecto.
4. Identificación de los tipos de impactos ambientales del proyecto y su valoración.

Como se puede observar en la Tabla 1, se analizaron en total 16 autores e instituciones localizados en 10 países como: España, Chile, Cuba, Uruguay, Guatemala, Argentina, Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela.

En la siguiente tabla se muestran los diferentes aspectos considerados por los autores e instituciones consultadas:

Tabla 1. Aspectos considerados en los Estudios de Impacto Ambiental.

Aspectos	Especificaciones Técnicas del Estudio		Análisis del ciclo de vida			Normativa legal a tener en cuenta (6)
	Descripción preliminar del programa o proyecto y el medio ambiente (1)	Definición del área de influencia del programa o proyecto (2)	Caracterización y sensibilidad ambiental del área de influencia del proyecto (3)	Previsión o Identificación de las acciones que pueden causar impacto. (4)	Identificación de los factores ambientales del entorno susceptibles de recibir impactos. (5)	
Autores						
Dellavedova. Argentina (2011)	✓			✓	✓	
Conesa. España (1997)	✓	✓		✓	✓	
CIDIAT. Venezuela (2009)	✓	✓	✓	✓		
Viceministerio de Turismo. Perú (2005)	✓	✓				✓
Dirección General de Calidad Ambiental. España (2004)	✓	✓				✓
Gómez. España (2002)	✓	✓				✓
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia (2010)	✓		✓	Zonificación Ambiental	✓	
Espinoza. Chile (2001)	✓	✓				
Comisión Nacional de Energía y de medio Ambiente. Chile (2007)	✓	✓	✓	✓		
BIOFOREST BOST S.L.U. España (2009)	✓		✓	✓		✓
Botija. España (2011)	✓				✓	
Consejo Nacional de Electricidad Ecuador (2005)	✓	✓				
Servicio de Evaluación Ambiental. Gob. de Chile (2012)	✓			✓		
Garzón. Cuba (2010)	✓	✓	✓	✓	✓	
EcoMetrix Incorporated. Uruguay (2010)	✓	✓		✓		
Risalde. España (2006)	✓	✓		✓		
Gil. Cuba (2005)	✓	✓				
Quezada, Guatemala (2005),	✓	✓				✓

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 1. Continuación. Aspectos considerados en los Estudios de Impacto Ambiental.

Aspectos	Normativa legal a tener en cuenta (9)	Evaluación Ambiental (10)		Definición de las medidas correctoras, precautorias y compensatorias (11)	Zonificación del manejo ambiental (12)	Programa de Seguimiento (13)	Plan de Supervisión Ambiental (14)	Fichas resúmenes de los principales contenidos del EIA (15)	Descripción de las acciones de participación ciudadana ejecutadas y por ejecutar por ejecutar (16)
		Identificación, selección, descripción y evaluación de impactos ambientales	Predicción de la magnitud del impacto sobre cada factor						
Autores									
Dellavedova, Argentina (2011)			✓						
Conesa, España(1997)	✓	✓	✓	✓					
CID/AT, Venezuela (2009)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Viceministerio de Turismo, Perú (2005).	✓	✓	✓	✓					
Dirección General de Calidad Ambiental, España (2004)	✓		✓						
Gómez, España (2002)			✓	✓					
Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia (2010)			✓	✓	✓	✓			
Espinoza, Chile (2001)	✓		✓	✓					
Comisión Nacional de Energía y de medio Ambiente, Chile (2007)			✓	✓		✓		✓	✓

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 1. Continuación. Aspectos considerados en los Estudios de Impacto Ambiental

Aspectos	Normativa legal a tener en cuenta (9)	Evaluación Ambiental (10)		Definición de las medidas correctoras, precautorias y compensatorias (11)	Zonificación del manejo ambiental (12)	Programa de Seguimiento (13)	Plan de Supervisión Ambiental (14)	Fichas resúmenes de los principales contenidos del EIA (15)	Descripción de las acciones de participación ciudadana ejecutadas y por ejecutar (16)
		Identificación, selección, descripción y evaluación de impactos ambientales	Predicción de la magnitud del impacto sobre cada factor						
Autores									
BIOFOREST BOST S.L.U. España (2009)		✓	✓	✓		✓			
Boltja. España (2011)		✓	✓	✓		✓		✓	
Consejo Nacional de Electricidad Ecuador (CONELEC) (2005)	✓	✓	✓	✓					
Servicio de Evaluación Ambiental. Gobierno de Chile (2012)		✓	✓	✓					
Garzón. Cuba (2010)		✓	✓	✓					
EcoMetrix Incorporated. Uruguay (2010)		✓	✓						
Risal de España (2006)	✓			✓		✓			
Gil. Cuba		✓	✓						
Quezada, Guatemala (2005).	✓	✓	✓						

Fuente: Elaboración Propia.

De lo expuesto anteriormente, tanto para la evaluación de estudios de impacto ambiental general, como en proyectos de generación de energía eléctrica con biomasa, se puede apreciar que cada autor o institución establecen la estructura y los aspectos que conforman los estudios de impacto ambiental, resaltando que aunque difieren con el nombre que se les asigna, el contenido en la práctica es el mismo.

Tomando como patrón de referencia, que el 50% o más de los autores e instituciones consultadas, presenten en común los aspectos a ser incluidos en un estudio de evaluación de impacto ambiental, a continuación se destacan los mismos:

1. Descripción preliminar del programa o proyecto y el medio ambiente.
2. Definición del área de influencia del programa o proyecto.
3. Identificación de las acciones que pueden causar impacto.
4. Normativa legal a tener en cuenta.
5. Identificación, selección, descripción y evaluación de impactos ambientales.
6. Definición de las medidas correctoras, precautorias y compensatorias.

Además de los aspectos en común que presentan la mayoría de los autores, hay otros que son relevantes al momento de elaborar EIA. De esta manera, entre el 25% y 49% de los autores indican los siguientes aspectos:

1. Caracterización y sensibilidad ambiental del área de influencia del proyecto.
2. Identificación de los factores ambientales del entorno susceptibles de recibir impactos.
3. Programa de Seguimiento.
4. Descripción de las acciones de participación ciudadana ejecutadas y por ejecutar.

Finalmente, existen 3 aspectos que solamente son considerados por tres autores:

1. Zonificación del manejo ambiental.
2. Plan de Supervisión Ambiental.
3. Fichas resúmenes de los principales contenidos del EIA.

Los estudios de evaluación de impacto ambiental deben incluir en su estructura necesariamente los 6 elementos que presentaron en común más del 50% de los autores y tomando en cuenta la diversidad de los EIA que se elaboran, es necesario igualmente incluir aspectos tales como:

- Identificación de los factores ambientales del entorno susceptibles de recibir impactos.
- Descripción de las acciones de participación ciudadana ejecutadas y por ejecutar.
- Programa de Seguimiento.
- Plan de Supervisión Ambiental.

Esto permitiría estructurar finalmente un estudio de evaluación de impacto ambiental en torno a 10 elementos fundamentales, y de esta manera garantizar un correcto análisis del ambiente en proyectos de generación eléctrica con biomasa residual.

Conclusiones

Los estudios de evaluación de impacto ambiental son documentos técnicos elaborados con la finalidad de atenuar los efectos que producen los diferentes proyectos sobre el ambiente, en este sentido, los mismos se conforman con una serie de aspectos técnicos que en parte dependen de la normativa legal ambiental que rige en cada país, así como la experticia y los criterios de las instituciones o autores que elaboran el estudio.

De la revisión de los 16 autores e instituciones en diferentes países, se hallaron 13 aspectos de los cuales se consideran 10 como

los fundamentales en el marco del contenido de un estudio de evaluación impacto ambiental en proyectos de generación eléctrica con biomasa residual, éstos son: descripción preliminar del programa o proyecto y el medio ambiente, definición del área de influencia del programa o proyecto, identificación de las acciones que pueden causar impacto, normativa legal a tener en cuenta, identificación, selección descripción y evaluación de impactos ambientales, definición de las medidas correctoras precautorias y compensatorias, identificación de los factores ambientales del entorno susceptibles de recibir impactos, descripción de las acciones de participación ciudadana ejecutadas y por ejecutar, programa de seguimiento y plan de supervisión ambiental.

Referencias bibliográficas

BIOFOREST BOST S.L.U. 2009. ***Proyecto Técnico y Estudio de Impacto Ambiental de la Planta de Biomasa Forestal en Errigoiti***. Recuperado el 12 de Mayo del 2011 en http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49orokorra/es/contenidos/informacion/bioforest/es_ip/adjuntos/anexos.pdf

BOTIJA, S. 2011. ***Proyecto de una central eléctrica de biomasa***. Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero industrial. Universidad Carlo III Madrid. Departamento de Ingeniería eléctrica. Recuperado el 03 de Diciembre del 2011 en http://earchivo.uc3m.es/bitstream/id/54363/PFC_Sergio_Valentin_Botija.pdf;jsessionid=E25C5A0D50D18132DE9EE7434154EEA7

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACION AMBIENTAL Y TERRITORIAL (CIDIAT). 2009. ***Estudio de impacto ambiental y sociocultural del proyecto “Suministro y Descarga de Aguas Marinas para el Nuevo Conjunto de Plantas Amoniaco - Urea del Complejo Petroquímico Morón”***. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y territorial. Vice - Rectorado Académico. Coordinación de asistencia Técnica. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGIA Y DE MEDIO AMBIENTE DE CHILE. 2007. ***Guía para Evaluación Ambiental Energías Renovables No Convencionales***. Recuperado el 03 de Octubre del 2011 en <http://www.giz.de/de/downloads/sp-EIA-proyectos-de-biomasa.pdf>

CONESA, V. 1997. ***Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental***. Madrid-España: Ediciones Mundi - Prensa.

CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD ECUADOR (CONELEC). 2005. ***Manual de Procedimientos para la Evaluación Ambiental de Proyectos y Actividades Eléctricas. Módulo 4***. Recuperado el 06 de Marzo del 2011 en <http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/Modulo%204.pdf>

DELLAVEDOVA, M. 2011. ***Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental***. Recuperado el 20 de Enero del 2012 en <http://blogs.unlp.edu.ar/planeamientofau/files/2013/05/Ficha-17-GUIA-METODOLOGICA-PARA-LA-ELABORACION-DE-UNA-EIA.pdf>

ECOMETRIX INCORPORATED. 2010. ***Celulosa y Energía Punta Pereira – Evaluación de impacto ambiental y social***. Recuperado el 15 de Septiembre de 2011 en file:///C:/Users/IFLA%20USUARIO/Downloads/archivos-descargables-CEPP_MainReport_%20Espanol.pdf

ESPINOZA, G. 2001. ***Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental***. Centro de Estudios para el Desarrollo de Chile (CED). Recuperado el 10 de Agosto del 2011 en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/fundamentos.pdf>

GARZÓN, C. 2010. ***Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas***. Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniero Eléctrico. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Cuba

y Universidad Técnica de Cotopaxi Ecuador. Recuperado el 20 de Noviembre del 2011 en <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1293/1/T-UTC-2043.pdf>

GIL, Z. 2005. **Estudio del Impacto Ambiental del Uso del Bagazo como fuente de energía en centrales Azucareros en Cuba. Estudio de caso "Melanio Hernandez"**. Tesis de doctorado. Universidad de Girona. Instituto del Medio Ambiente. Recuperado el 04 de Noviembre del 2011 en <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/50994/tzqu.pdf?sequence=3>

GÓMEZ, D. 2002. **Evaluación de Impacto Ambiental**. Madrid - España: Grupo Mundi - Prensa.

LEY ORGANICA DEL AMBIENTE. 2006. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 5.833. (Extraordinaria). Caracas, 22 de Diciembre de 2006, Venezuela.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2010. **Metodología General para la Presentación de Estudios Ambientales**. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado el 26 de Marzo del 2011 en http://www.anla.gov.co/documentos/Normativa/metodologia_presentacion_ea.pdf

NORMA SOBRE EVALUACIÓN AMBIENTAL DE ACTIVIDADES SUSCEPTIBLES DE DEGRADAR EL AMBIENTE (Decreto N° 1257). Gaceta Oficial de la Republica Bolivariana de Venezuela N° 35.946. (Extraordinario). Caracas, 13 de Marzo de 1996, Venezuela.

QUEZADA, C. 2005. **Evaluación de Impacto Ambiental de la Empresa Ingenio Guadalupe S.A.** Recuperado el 18 de Enero del 2012, en http://www.fadep.org/documentosfadep_archivos/D64_EVALUACI%C3%93N_DE_IMPACTO_AMBIENTAL_GUA.doc.

RISALDE, J. 2006. **Central Térmica de Biomasa de 5 MW de Potencia**. Proyecto de Fin de Carrera Especialidad Industrias

Agroalimentarias Recuperado el 23 de Julio del 2011 en https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/JavierRomero/Memoria.pdf

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. GOBIERNO DE CHILE. 2012. ***Guía para la Evaluación de Impactos Ambientales de Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Bbiomasa y Biogas***. Recuperado el 06 de Febrero de 2012, de http://www.sea.gob.cl/sites/default/files/20121109_bio_terminada.pdf

VICEMINISTERIO DE TURISMO PERU. 2005. ***Guía para la Elaboración de Estudios de Impacto Ambiental***. Viceministerio de Turismo. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Recuperado el 06 de Abril de 2011 en http://www.mincetur.gob.pe/turismo/proyectos/impacto_ambiental/pdf/Turismo_Guía_Elaboracion_EIA.pdf

Necesidades y posibilidades de protección de la cobertura forestal a través del establecimiento de Zonas de Conservación para la Provisión de Agua en los Yungas de La Paz, Bolivia

Needs and possibilities for the protection of forest cover through the establishment of conservation areas for water supply in the Yungas of La Paz, Bolivia

Marcelo Vargas-Claros*

Recibido: 20-11-2013

Aceptado: 03-02-2014

Resumen

La región de los Yungas de La Paz (Bolivia) ingresó a un crítico proceso de degradación ambiental como consecuencia de: la ampliación de la frontera agropecuaria, la deforestación y los incendios forestales. Los efectos ambientales y socioeconómicos de esta situación, se traducen principalmente en la: pérdida de la masa boscosa, erosión de los suelos y disminución de los niveles de agua (superficial y subterránea); lo que pone en riesgo la dotación de este recurso a la población. El presente trabajo tiene por objeto describir y analizar las necesidades y posibilidades de protección de la cobertura forestal a través del establecimiento de Zonas de Conservación para la Provisión de Agua (ZOCOPA) en los Yungas de La Paz, Bolivia. Las ZOCOPA son áreas comunales protegidas cuyo objetivo principal es garantizar la provisión de agua potable en las comunidades. La implementación de las mismas se constituye en una estrategia de preservación de la biodiversidad (factible, participativa y de gran impacto); ya que permite: definir, comprometer e integrar el rol de los diferentes actores; comunidad, comité de agua y municipio, en términos tanto de concertación como de fiscalización y respaldo legal.

Biólogo Forestal - Consultor Independiente - Av. Tadeo Haenke # 2003 - Teléfono: 591-4-4243498 - Correo E.: marvacla@yahoo.com - Cochabamba, Bolivia

Palabras clave: agua, bosques, comunidades, deforestación, gestión.

Abstract

The region of the Yungas of La Paz (Bolivia) is suffering a critical process of environmental degradation as a result of: expanding the agricultural frontier, deforestation and forest fires. The environmental and socio-economic effects of this situation results mainly in: forest mass loss, soil erosion and decreased water levels (surface and groundwater), that threatens the supply of water to the population. This paper aims to describe and analyze the needs and possibilities of forest cover protection through the establishment of Conservation Areas for the Water Supply (ZOCOPA) in the Yungas of La Paz, Bolivia. The ZOCOPA are communal protected areas which main objective is to ensure the provision of drinking water in communities. The implementation of this constitutes a strategy for preservation biodiversity (practical, participatory and high impact) and the ability to: identify, engage and integrate the roles of different stakeholders; community, water committee and municipality at both consultation and legal support and oversight.

Key words: water, forests, communities, deforestation, management.

1. Antecedentes

La ecorregión de los Yungas ambientalmente se caracteriza por presentar una vegetación exuberante, una fisiografía montañosa y abrupta, suelos superficiales y una humedad atmosférica elevada por la nubosidad existente, principalmente durante la época de lluvias. Estas condiciones hacen que esta zona se constituya por naturaleza en una región importante para la provisión de servicios ambientales, en particular relacionados a la recarga de acuíferos y la dotación de agua.

Desde hace varias décadas en los Yungas se ha experimentado un masivo proceso de colonización para fomentar la ampliación de

la frontera agropecuaria. Esta dinámica política y socioeconómica conllevó al incremento en la demanda de recursos naturales, lo que ocasionó impactos ambientales inmediatos, siendo la vegetación el recurso más afectado ya que experimentó drásticos cambios estructurales, principalmente a nivel de cobertura.

La permanente y recurrente desaparición de la cobertura boscosa en los Yungas ocasionó que muchas de sus vertientes e incluso ríos hayan empezado a secarse, provocando deficiencias en la disponibilidad de agua en la región. Resulta paradójico e irónico a la vez que en una zona como los Yungas, que por naturaleza debería ser rica en agua, muchas comunidades rurales (CR) experimenten déficit en la dotación de este recurso.

La situación de escasez de agua potable en los Yungas es tal, que varios municipios ya empezaron a tener problemas de esta naturaleza, tales como: Coroico, Coripata, Caranavi, Palos Blancos, entre otros; recurriendo incluso, al uso de cisternas para su distribución durante la época seca del año, municipios de Coroico y Palos Blancos.

Considerando esta situación, el presente trabajo tiene por objeto describir y analizar las necesidades y posibilidades de protección de la cobertura forestal a través del establecimiento de Zonas de Conservación para la Provisión de Agua (ZOCOPA) en los Yungas; y así plantear alternativas técnicas, socioeconómicas e institucionales para garantizar la disponibilidad de agua a la población.

2. La zona de estudio

La presente experiencia se ha desarrollado en varios municipios de la ecorregión de los Yungas del departamento de La Paz, misma que se ubica en su parte central y recorre la ladera oriental de la Cordillera de los Andes (figura 1).

3. Definición y finalidad de la ZOCOPA

La ZOCOPA es una superficie boscosa inmersa generalmente en una microcuenca, en cuyo interior se halla la toma de los

sistemas de agua potable, la cual es conservada -en condiciones naturales- para mantener y/o aumentar el caudal existente en las vertientes y así garantizar la provisión permanente de este recurso a las comunidades rurales.

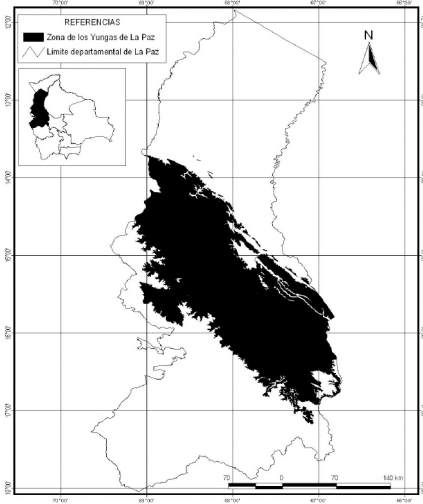


Figura 1. Zona correspondiente a los Yungas de La Paz, Bolivia (adaptado de Programa de Bosques Nativos y Agroecosistemas Andinos). Fuente: (PROBONA) *et al.* 2002).

4. Necesidad de establecer ZOCOPA en los Yungas: causas y efectos de la degradación ambiental

Ambientalmente, la región de los Yungas ingresó a un nivel de degradación preocupante, siendo el bosque el recurso más afectado. Las principales causas que originan esta situación son: 1) la ampliación de la frontera agrícola, 2) la deforestación y/o explotación forestal selectiva (cuartoneo*) y 3) las quemas e incendios forestales (figura 2).

* Actividad maderera ilícita que consiste en trozar las troncas con motosierra.



Figura 2. Pérdida de la cobertura boscosa en los Yungas: a) ampliación de la frontera agrícola, b) deforestación y/o explotación forestal selectiva (cuartoneo), y c) quemas e incendios forestales.

Fuente: (Fotos M. Vargas-Claros, 2010).

No existen cifras actuales sobre los niveles de disminución de la cobertura forestal en los Yungas. Sin embargo, se realizaron algunos estudios anteriores que pudieran servir de referencia para matizar este escenario ambiental. En la figura 3 se detalla el área deforestada en los principales municipios de los Yungas hasta el año 2001; según estos datos, los mayores valores de deforestación se presentan en: Caranavi, Guanay, Palos Blancos, La Asunta y Coroico.

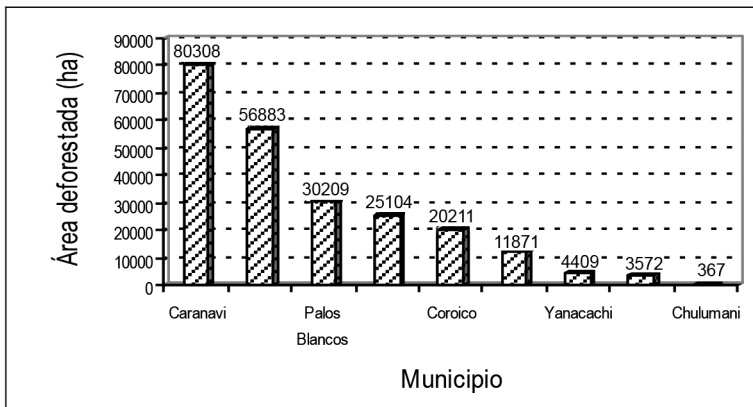


Figura 3. Niveles de deforestación en los principales municipios de los Yungas.

Fuente: (adaptado de Killeen *et al.*, 2005)

Si bien existen algunos estudios que trataron de cuantificar la pérdida de cobertura forestal en la región de los Yungas de La Paz (BOLFOR *et al.* 2003 y Killeen *et al.* 2005), los datos mencionados no corresponden a una tasa anual de deforestación propiamente dicha. Sin embargo, en base a la información detallada en estos documentos de superficie y períodos y a las ecuaciones desarrolladas por la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1995) y Puyravaud (2003), se logró estimar la tasa anual de deforestación promedio de once municipios; la misma asciende a 0,50% (La Asunta, Palos Blancos, Ixiamas, Caranavi, Chulumani, Yanacachi, Coripata, Guanay, San Buenaventura, Coroico e Inquisivi).

En el municipio de Coroico cada familia chaquea (deforesta) en promedio 2500 m²/año de superficie (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2003). El medio utilizado para habilitar nuevos chacos es la quema; lamentablemente la misma se realiza en forma descontrolada y sin prever técnicas que garanticen que el fuego no afecte zonas boscosas no consideradas en forma inicial.

La crítica situación ambiental de los Yungas es producto del uso irracional de los recursos naturales, relacionado principalmente a la ampliación de la frontera agrícola. Según datos publicados por la Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC) y Estado Plurinacional de Bolivia (2010), la superficie total ocupada por los principales cultivos de los Yungas se incrementó -en tan sólo una gestión: 2007 a 2008- en un 5,16% (tabla 1).

Tabla 1. Superficie cultivada de los principales productos en los Yungas de La Paz

Zona	Cultivo	Superficie cultivada (ha)	
		2007	2008
Alto Beni	Coca	50	49
	Banana	4247	4647
	Cacao	5017	5506
	Cítrico	1077	1121
Caranavi	Coca	1714	1653
	Café	9074	9187
	Banana	2948	3120
	Cítrico	145	150
La Asunta	Coca	3266	4028
	Banana	291	298
	Café	395	431
Yungas occidentales	Coca	13095	13274
	Café	110	107
	Mango	70	70
Superficie total		41499	43641

Fuente: UNODC y Estado Plurinacional de Bolivia (2010)

La desaparición de la cobertura forestal en los Yungas pone en riesgo dos recursos adicionales. Por un lado se afecta el suelo, debido al incremento del nivel de vulnerabilidad por la erosión hídrica; las pérdidas edáficas por erosión en la región de Nor Yungas alcanzan a 4532 t/ha/año (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2003). Por otro lado, esta crítica situación ambiental afecta la disponibilidad de recursos hídricos en la zona. Desde hace varios años, casi todos los municipios de los Yungas están experimentando una paulatina escasez de agua potable, particularmente en la época seca del año. Para el caso de la serranía del Uchumachi que abastece de agua a la población de Coroico por ejemplo, según los datos mencionados por Ríos (2006), se ha observado una disminución significativa del caudal promedio de las vertientes circundantes a esta montaña; entre los años 1978 y 2006, este descenso alcanzó el 58,69% (tabla 2).

Tabla 2. Caudales promedio de las vertientes aledañas a la serranía del Uchumachi (época seca)

Año	Caudal (l/s)
1978	11.11
1998	8.10
2002	6.50
2004	5.20
2006	4.59

Fuente: adoptado de Ríos (2006).

Si bien la región de los Yungas no está contemplada en el mapa de desertificación de Bolivia, una mayoría de sus municipios tienden a ingresar a este proceso de degradación ambiental, porque ya no cuentan con una reserva boscosa que almacene agua y genere humedad en el medio (ej. Coripata, Irupana, Chulumani, Yanacachi, Coroico, etc.).

Adicionalmente, las condiciones ambientales y socioeconómicas que caracterizan a los Yungas; topografía, pendiente, cantidad de población, actividades agrícolas, degradación forestal, incendios forestales, entre otras, ocasionan que la mayoría de las microcuencas de donde se abastecen de agua potable las comunidades rurales, posean en promedio un alto nivel de vulnerabilidad (64,50%).

Un factor relevante que influye en la crítica situación ambiental de los Yungas es el crecimiento poblacional. Según datos proyectados del Instituto Nacional de Estadística (INE) (s/a), el número de habitantes en los principales municipios de esta región, creció en un 6,47% entre los años 2000 y 2010; esto se traduce en un incremento significativo en la demanda de recursos naturales: bosque, suelo y agua.

Todos estos aspectos ambientales, sociales y económicos; incrementan la posibilidad de ocurrencia de desastres de origen natural y/o antrópico, tales como: sequías, deslizamientos, incendios

e inundaciones; con significativos impactos socioeconómicos relacionados principalmente a:

- Falta de agua para uso doméstico y productivo agropecuario e industrial
- Falta de tierra para cultivar
- Disminución de la calidad de vida
- Disminución de los ingresos productivos familiares
- Disminución de la seguridad alimentaria
- Incremento del índice de pobreza
- Incremento de la tasa de migración, etc.

5. Posibilidades de establecimiento de ZOCOPA

5.1. Marco legal e institucional

El marco legal relacionado al tema de las ZOCOPA en Bolivia, está considerado en las siguientes instancias legales, entre otras:

Constitución Política del Estado: el acápite II del artículo 374 menciona que *“El Estado reconocerá, respetará, y protegerá los usos y costumbres de las comunidades, de sus autoridades locales y de las organizaciones indígena originaria campesinas sobre el derecho, el manejo y la gestión sustentable del agua”*. Por su parte, el artículo 376 señala que *“Los recursos hídricos de los ríos, lagos y lagunas que conforman las cuencas hidrográficas, por su potencialidad, por la variedad de recursos naturales que contienen y por ser parte fundamental de los ecosistemas, se consideran recursos estratégicos para el desarrollo y la soberanía boliviana. El Estado evitará acciones en las nacientes y zonas intermedias de los ríos que ocasionen daños a los ecosistemas o disminuyan los caudales, preservará el estado natural y velará por el desarrollo y bienestar de la población”* (Estado Plurinacional de Bolivia, 2009).

- Ley de Medio Ambiente (N° 1333): el artículo 37 señala que *“Constituye prioridad nacional la planificación, protección y conservación de las aguas en todos sus estados y el manejo integral y control de las cuencas donde nacen o se encuentran las mismas”* (República de Bolivia, 1992).

•Ley Forestal (Nº 1700): el inciso c) del artículo 2, señala que es uno de los objetivos del desarrollo forestal sostenible *“Proteger y rehabilitar las cuencas hidrográficas, prevenir y detener la erosión de la tierra y la degradación de los bosques, praderas, suelos y aguas, y promover la forestación y reforestación”*. Adicionalmente, el artículo 13 menciona que *“Son tierras de protección aquellas con cobertura vegetal o sin ella que por su grado de vulnerabilidad a la degradación y/o los servicios ecológicos que prestan a la cuenca hidrográfica o a fines específicos, o por interés social o iniciativa privada, no son susceptibles de aprovechamiento agropecuario ni forestal, limitándose al aprovechamiento hidroenergético, fines recreacionales, de investigación, educación y cualquier otro uso indirecto no consuntivo. Las masas forestales protectoras que son del dominio del Estado serán declaradas y delimitadas como bosques de protección. Por iniciativa privada podrán establecerse reservas privadas del patrimonio natural, que gozan de todas las seguridades jurídicas de las tierras de protección”* (República de Bolivia, 1996).

•Ley de Prestación y Utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (Ley Nº 2066): en su artículo 23 (Conservación del Agua y el Medio Ambiente) menciona que *“Los prestadores de Servicios de Agua Potable o Servicios de Alcantarillado Sanitario deben proteger el medio ambiente conforme a las disposiciones de la Ley 1333 de 15 de julio de 1992 y su reglamentación, así como promover el uso eficiente y conservación del agua potable, mediante la utilización de equipos, materiales y técnicas constructivas que no deterioren el ambiente y que contribuyan a la conservación del agua, la promoción del uso de dispositivos ahorradores del agua y la orientación a los usuarios para la disminución de fugas dentro de los sistemas de Agua Potable, así como el adecuado tratamiento disposición de las Aguas Residuales”* (República de Bolivia, 2000).

Las instituciones locales, departamentales y nacionales responsables de velar por el manejo y conservación adecuada de los recursos naturales bosque, suelo y agua son:

- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra (ABT)
- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua y Saneamiento Básico (AAPS)
- Alcaldías Municipales
- Gobernaciones Departamentales

5.2. Predisposición e interés poblacional por las ZOCOPA

El tema ambiental en Bolivia -y en gran parte del mundo- tiene poca relevancia a nivel poblacional e incluso institucional, esta afirmación se basa en los siguientes argumentos:

- El desinterés e indiferencia de la población.
- La negligencia con la que tratan el tema las autoridades públicas.
- La baja inversión financiera destinada al tema, tanto por el sector público como privado en la prevención, mitigación y más aún restauración.

Sin embargo, cuando la problemática ambiental está relacionada al abastecimiento de agua potable, la respuesta principalmente poblacional es totalmente diferente, la gente recién toma interés en emprender y asumir acciones destinadas a proteger e incluso restaurar las áreas de donde se abastecen de este recurso. Esta situación es más notoria en comunidades rurales que experimentaron y/o experimentan un déficit significativo en la dotación de este recurso, porque su territorio ya no cuenta con áreas boscosas que recarguen sus acuíferos (ej. comunidad de Chiquiña, municipio de Coroico).

El agua al ser un recurso 'vital', constituye un instrumento muy eficiente para sensibilizar a la población sobre la crítica situación ambiental e incide en un cambio de actitud frente al uso irracional de los recursos boscosos. Por lo tanto, se debe considerar y enfatizar la importancia ambiental y principalmente socioeconómica del agua para ocasionar una respuesta positiva e inmediata en la población.

La afirmación del párrafo precedente es corroborada con los proyectos de agua potable y/o alcantarillado financiados por la organización no gubernamental Agricultural Cooperative Development International/Volunteers in Overseas Cooperative Assistance (ACDI/VOCA) en la región de los Yungas. En el período comprendido entre los años 2001 y 2010 esta institución facilitó el establecimiento y consolidación de 27 ZOCOPA en diferentes comunidades rurales de los municipios de: Caranavi, Coroico, Palos Blancos, La Asunta, Coripata, Yanacachi, Chulumani e Irupana. Con estas iniciativas, se logró preservar una superficie boscosa de 13.546,41 hectáreas; donde las comunidades rurales involucradas asumieron la responsabilidad de proteger sus ZOCOPA para garantizarse el abastecimiento de agua potable.

Ahora bien, dada la importancia de los ecosistemas forestales en el ciclo del agua a través de la recarga de acuíferos y la actual coyuntura (política, social y económica) relacionada al cambio climático en general y al tema del agua en particular; se hace oportuno aprovechar esta situación para que las autoridades públicas competentes exijan -como condición- el establecimiento de ZOCOPA en los proyectos de agua potable y así proteger las masas boscosas remanentes que garanticen la dotación del recurso hídrico.

5.3. Legalización de las ZOCOPA

La legalización de las ZOCOPA es una opción 'complementaria y voluntaria' de las comunidades rurales y tiene la finalidad de brindar el correspondiente respaldo legal de protección a estas áreas. Antes de iniciar este proceso, se debe hacer un análisis minucioso de su pertinencia y factibilidad técnica, socioeconómica y legal entre los pobladores de cada comunidad rural, considerando las siguientes interrogantes, entre otras:

- ¿Existe el consenso general necesario para legalizar la ZOCOPA?
- ¿Cuál es la situación legal del territorio de la ZOCOPA: tierra fiscal, tierra comunal, propiedad privada, entre otras?

- ¿Existen propietarios privados al interior de la ZOCOPA y cómo se concertará con ellos?
- ¿Existen riesgos y/o presiones ambientales y socioeconómicas que amenacen la ZOCOPA: deforestación, actividades agropecuarias, actividades mineras, uso de agroquímicos, incendios forestales, erosión y deslizamientos de suelos, entre otras?

Las autoridades comunales, Secretarios Generales y Presidentes de Comités de Agua de las comunidades rurales que ‘en consenso’ quieran obtener el respaldo legal para sus ZOCOPA, deben preparar los documentos necesarios e iniciar el trámite de legalización ante la entidad pública correspondiente.

En Bolivia existen dos entidades públicas que pueden proporcionar el respaldo legal de protección a las ZOCOPA. En la tabla 3 se detalla un listado de las mismas, el tipo de documento emitido y los requisitos necesarios para iniciar el trámite.

Tabla 3. Detalle de las entidades públicas donde se puede solicitar la legalización de las ZOCOPA

Entidad pública	Tipo de documento emitido	Requisitos
Alcaldías Municipales	Ordenanza Municipal de Declaración de Área Protegida a la ZOCOPA	<ul style="list-style-type: none"> • Carta de solicitud de legalización de la ZOCOPA dirigida al Alcalde Municipal (firmado por el Secretario General y Presidente del Comité de Agua) • Fotocopia del convenio de protección ambiental de la ZOCOPA (firmado por autoridades comunales y la población en su conjunto)* • Fotocopia del mapa de la ZOCOPA (con límites y superficie)
ABT	Testimonio de Escritura Pública de Reservas Privadas del Patrimonio Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Testimonio de Escritura Pública (notariado), especificando: • Extensión (no mayor a 5000 ha) y límites • Valores que se desea proteger • Limitaciones de uso y aprovechamiento • Plazo que voluntariamente se impone (no menor a 10 años) • Normas de manejo y vigilancia que se propone aplicar • Mapa cartográfico del área

* La comunidad interesada en iniciar este trámite, debe elaborar y firmar (en conjunto) un convenio interno de protección de la ZOCOPA.

Fuente: Elaboración propia

Con relación a la ordenanza municipal que reconoce a la ZOCOPA como área protegida municipal, vale la pena aclarar que este documento no incluye ni pretende bajo ninguna circunstancia la expropiación del territorio de la ZOCOPA por parte de las Alcaldías; simplemente da un respaldo o aval legal para garantizar su protección. Por ende, el derecho propietario de las personas que viven al interior de la ZOCOPA se mantiene y respeta.

El tenor de las ordenanzas municipales destinadas a la declaración de áreas protegidas a las ZOCOPA, debe considerar los siguientes aspectos básicos:

- Base legal.
- Comunidad beneficiaria y su ubicación municipio, provincia y departamento.
- Superficie y coordenadas geográficas de ubicación de la ZOCOPA.
- Objetivos de la ZOCOPA.
- Premisas de conservación, actores involucrados y sus responsabilidades.

6. Estrategia de establecimiento y manejo de las ZOCOPA

En base a lo mencionado por Vargas-Claros (2010), a continuación se detalla la estrategia a seguir para el establecimiento y manejo de las ZOCOPA.

6.1. Etapas del proceso

a) Etapa de sensibilización

Las autoridades comunales Secretarios Generales y Presidentes de los Comités de Agua deben gestionar la sensibilización de la población en general y de los propietarios privados en particular, sobre la necesidad e importancia de establecer las ZOCOPA para garantizar la disponibilidad permanente de agua a la comunidad.

b) Etapa de concertación

Una vez que la población se convenza de la importancia de la ZOCOPA, se debe concertar su ubicación y delimitación. La misma tiene que estar situada en la cabecera de la microcuenca sector de la toma de agua y sus linderos deben ser definidos en base a los siguientes criterios: relieve zona de divisoria de aguas, uso del suelo y límites comunales; con esa información, posteriormente se debe elaborar un mapa de la ZOCOPA.

Una situación común observada en muchas comunidades con relación a las ZOCOPA, es la percepción errónea que se tiene de la superficie de protección. Existen ZOCOPA extremadamente pequeñas y por ende nada funcionales, ya que la población sólo protege el área circundante al sector de la toma de agua, cubriendo un radio de 50 o 100 m en el mejor de los casos.

A futuro y teniendo en cuenta que para garantizar la sostenibilidad en la provisión de agua, es mejor contar con una superficie boscosa más grande; se recomienda que las comunidades rurales amplíen su ZOCOPA. Esta actividad debe ser realizada considerando aspectos técnicos de manejo de cuencas (delimitación y zonificación).

c) Etapa de consolidación

Es necesario que las comunidades rurales se comprometan a proteger su ZOCOPA; para lo cual, este compromiso tiene que ser plasmado en un convenio de protección ambiental de la ZOCOPA. Este documento debe contener como mínimo, las siguientes cláusulas:

- Partes suscriptoras la comunidad en cuestión representada por su Secretario General y el Comité de Agua Potable de la Comunidad representado por su Presidente.
- Objetivo de creación de la ZOCOPA.
- Base legal.
- Superficie y linderos de la ZOCOPA, adjuntar copia del mapa.
- Obligaciones para el cuidado de la ZOCOPA, de la comunidad y del comité.
- Vigencia y disolución del convenio.
- Solución de controversias.

Es importante e indispensable a la vez que el convenio de protección de la ZOCOPA, debe ser refrendado tanto por las autoridades comunales como por la población en su conjunto.

6.2. Actividades de protección de las ZOCOPA

Los riesgos presentes en las ZOCOPA originan la necesidad de que las comunidades rurales beneficiaras del agua planifiquen e implementen actividades urgentes para garantizar su protección, tanto a nivel social como técnico.

6.2.1. Actividades a nivel social

Las actividades sociales son cruciales para el éxito de la protección de las ZOCOPA, y entre éstas se deben enfatizar necesariamente las siguientes:

a) Fortalecer el nivel de organización de la comunidad

Cada comunidad debe estar completamente 'unida' y tener una idea clara de la importancia de las ZOCOPA para la provisión de agua; con esa condición, recién podrán planificar e implementar estrategias consensuadas e integrales de protección.

b) Formulación de reglamentos internos

Si bien se cuenta con leyes nacionales inherentes al medio ambiente, la protección real de las ZOCOPA debe plasmarse e iniciarse en las comunidades rurales, para esto es necesario que cada una formule reglamentos internos comunales 'específicos' para cuidar las ZOCOPA, que incluya sanciones que se hagan cumplir. Se recomienda que estas normas comunales sean homologadas por la ABT y/o la Alcaldía Municipal para que tengan un respaldo institucional.

c) Coordinación con instituciones públicas

Es necesario involucrar y coordinar con la Alcaldía y la ABT para que apoyen y respalden la protección de las ZOCOPA, ya que son las entidades legalmente responsables de fiscalizar el uso adecuado de los recursos forestales en el país.

d) Fiscalización y denuncia

Esta es una actividad muy importante para la protección de las ZOCOPA, en la que debe participar toda la población en especial el comité de aguas. Para esto se pueden conformar brigadas de

vigilancia para que realicen recorridos periódicos por las ZOCOPA, y así verifiquen y precautelen su cuidado frente a la deforestación, los chequeos e incendios forestales.

Por otro lado, es necesario también fomentar la cultura de la denuncia en la población en general, para facilitar la investigación al momento de determinar al o a los responsables del origen y los efectos de actividades que afecten las ZOCOPA.

e) Capacitación y sensibilización

Los dirigentes comunales, deben gestionar cursos de capacitación y sensibilización poblacional para que la gente se interiorice de la problemática e importancia ambiental de las ZOCOPA y así promover un cambio de actitud tendiente a su protección, estos eventos deberán incluir -por lo menos- aspectos legales y ecológicos.

6.2.2. Actividades a nivel técnico

a) Regeneración natural del bosque

Se debe propiciar la regeneración natural de los árboles del bosque en la ZOCOPA, ya que esta opción tiene mejores resultados en comparación a la reforestación e involucra menor esfuerzo y recursos económicos. Para desarrollar esta actividad se puede implementar tratamientos silviculturales en la vegetación circundante de la ZOCOPA, entre estas: podas, raleos, limpiezas de sotobosque, entre otras.

b) Reforestación

La reforestación es una opción, siempre y cuando sea necesario y conveniente para la ZOCOPA, y además la comunidad esté consciente del trabajo y esfuerzo que involucra esta actividad. De contar con estas condiciones, se puede reforestar lugares vulnerables de la ZOCOPA, como son: líneas de aducción, zonas de deslizamientos, lugares circundantes a la ZOCOPA, entre otros.

Para desarrollar esta actividad se debe priorizar el uso de especies forestales nativas de los Yungas, para que las mismas mantengan e incluso mejoren las condiciones ambientales de las ZOCOPA. Las comunidades rurales cuentan con un abanico de

opciones de árboles promisorios a utilizar en la reforestación, como son: ceibo (*Erythrina* sp.), laurel (*Nectandra* sp. y/u *Ocotea* sp.), pacay (*Inga* sp.), cedro (*Cedrela* sp.), nogal (*Juglans* sp.), pino de monte (*Podocarpus* sp.), waych'a (*Weinmannia* sp.), entre otros.

c) Agroforestería

Las actividades agropecuarias de los propietarios privados que pudieran existir en la ZOCOPA y/o en su área circundante, deben -necesariamente- practicarse con un enfoque orgánico y bajo sistemas agroforestales. Estas condiciones, permitirán mantener o mejorar la dotación de agua potable a las comunidades, tanto en cantidad como en calidad.

Conclusiones y recomendaciones

- Desde el inicio de la colonización en los Yungas, esta región ingresó a un preocupante proceso de degradación ambiental como consecuencia de: la ampliación de la frontera agropecuaria, la deforestación y/o explotación forestal selectiva y las quemadas e incendios forestales. Los efectos ambientales y socioeconómicos de esta situación, se traducen principalmente en la: pérdida de la cobertura boscosa, erosión de los suelos y disminución de los niveles de agua superficial y subterránea; lo que pone en riesgo la dotación de este recurso a las comunidades rurales.

- Considerando el actual escenario ambiental y socioeconómico de los Yungas, urge emprender medidas nacionales, departamentales y municipales (legales, técnicas y socioeconómicas) para evitar o minimizar las causas e impactos generados por la degradación del ambiente.

- Las ZOCOPA, en si son áreas comunales protegidas cuyo objetivo principal es garantizar la provisión de agua potable en las comunidades rurales. El establecimiento y consolidación de las mismas se constituye en una estrategia de protección de la biodiversidad factible, participativa y de gran impacto; ya que permite: definir, comprometer e integrar el rol de los diferentes actores: comunidades rurales, comités de agua y municipios; en términos tanto de concertación como de fiscalización y respaldo legal.

- La sensibilización ambiental es un factor trascendental para el establecimiento y consolidación de ZOCOPA. Lamentablemente y pese a que todas las instituciones públicas y privadas reconocen su importancia, los niveles de inversión financiera dirigida a este tema son mínimos y de corta duración. Este proceso debe ser continuo y estar dirigido a todos los grupos poblacionales niños y adultos; por lo que es urgente que las entidades principalmente públicas: Ministerio de Educación, Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Municipios, Gobernaciones; asuman su rol frente a esta situación y así lograr un cambio de actitud en la población en su conjunto.

- Con el objeto de conservar la biodiversidad del país y mantener la dotación de agua potable en las comunidades rurales, es necesario que las entidades públicas competentes estatales, departamentales y municipales: direcciones de medio ambiente y la AAPS incluyan como requisito -indispensable- el establecimiento de ZOCOPA dentro el trámite de aprobación y/o registro de proyectos de sistemas de agua potable.

Agradecimientos

A Fernando M. Carvajal-Vallejos por su apoyo en la traducción del resumen de este documento.

Referencias bibliográficas

BOLFOR, ROJAS, D., MARTÍNEZ, I., CORDERO, W. & CONTRERAS, F. 2003. *Deforestación de Bolivia 1993-2000*. Santa Cruz, Bolivia: BOLFOR - Superintendencia Forestal.

ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA. 2009. *Nueva constitución política del Estado*. La Paz, Bolivia. Gaceta Oficial de Bolivia.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED

- NATIONS (FAO). 1995. **Forest resources assessment 1990: global synthesis**. Rome, Italy. FAO Forestry Paper 124.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). S.F. **La Paz: proyecciones de población, por sexo, según municipio, 2000 - 2010 (en número de personas)**. Recuperado de <http://www.ine.gob.bo/indice/visualizador.aspx?ah=PC20402.HTM+LA+PAZ%3A+PROYECCIONES+DE+POBLACI%C3%93N,+POR+SEXO,+SEG%C3%9AN+MUNICIPIO,+2000+-+2010&ct=clnk>
- KILLEEN, T., SILES, T., SORIA, L. & CORREA, L. 2005. Estratificación de vegetación y cambio de uso de suelo en los Yungas y Alto Beni de La Paz. **Ecología en Bolivia**, 40 (3): 32-69.
- OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS CONTRA LA DROGA Y EL DELITO (UNODC) & ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA. 2010. **Estado Plurinacional de Bolivia: monitoreo de cultivos de coca 2009**. La Paz, Bolivia.
- PROGRAMA DE BOSQUES NATIVOS Y AGROECOSISTEMAS ANDINOS (PROBONA), FUNDACIÓN AMIGOS DE LA NATURALEZA (FAN), IBISCH, P., CARRETERO, A., BECK, S., CUELLAR, S. & CHIVE, J. 2002. **Mapa de los bosques nativos andinos de Bolivia: vegetación natural potencial**. La Paz, Bolivia. Esc: 1:1000000. Color
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD) & BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). 2003. **Estrategias de minimización de impactos ambientales del chaqueo y la quema en la provincia Nor Yungas, La Paz (Informe de Consultoría)**. La Paz, Bolivia. Prefectura de La Paz - Proyecto BID929/SF-BO-PNUD.
- PUYRAVAUD, J. P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. **Forest Ecology and Management**. 117: 593-596.
- REPÚBLICA DE BOLIVIA. 1992. **Ley del Medio Ambiente N° 1333**. La Paz, Bolivia. Gaceta Oficial de Bolivia.

- REPÚBLICA DE BOLIVIA. 1996. **Ley Forestal N° 1700**. La Paz, Bolivia. Gaceta Oficial de Bolivia.
- REPÚBLICA DE BOLIVIA. 2000. **Ley de Prestación y Utilización de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario**. La Paz, Bolivia. Gaceta Oficial de Bolivia.
- RÍOS, A. 2006. **Escenarios de deforestación mediante un modelo de simulación en la serranía Uchumachi y su incidencia en el agua y el costo de oportunidad de preservarlo** (Trabajo de Grado). Escuela Militar de Ingeniería. La Paz, Bolivia.
- VARGAS-CLAROS, M. 2010. **Establecimiento y manejo de zonas de conservación para la provisión de agua: manual de capacitación**. La Paz, Bolivia. USAID-VCDI-ACDI/VOCA.

La ingeniería de materiales. Síntesis documental aplicada al procesamiento primario de la madera con énfasis en las sierras de cintas

The materials engineering. Documentary synthesis applied to primary wood processing with emphasis on the bandsaws

Jhonattan Trejo*; Ramón Tolosa**; Pablo Ninin***; Carlos Bloem****y Roberto Gil*****

Recibido: 29-05-2012

Aceptado: 26-05-2014

Resumen

Se realizó una síntesis documental sobre los diversos materiales empleados en la industria del aserrío, una reseña histórica de la evolución de los materiales comúnmente empleados en las herramientas de corte. Se realizaron descripciones y comparaciones de las exigencias a las cuales serán sometidos con especial énfasis sobre los tratamientos y técnicas ejercidas para incrementar sus prestaciones mecánicas y tribológicas, detallando sobre los diferentes fenómenos ocurridos en cada situación. Se desglosaron las principales aleaciones metálicas que conforman las sierras de cintas para el procesamiento primario de la madera, las aleaciones y carburos empleados como materiales de refuerzos sobre los dientes, los tratamientos superficiales y los tratamientos térmicos más usuales a los cuales pueden acceder los aserraderos para obtener beneficios adicionales en sus herramientas de corte.

Palabras clave: Herramientas de corte, aserrado, madera, ingeniería de materiales, tratamientos térmicos, desgaste.

*Ingeniero Forestal. M.Sc. Ingeniería Mecánica Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Profesor Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA). Correo E.: tjhonattan@ula.ve

**Ingeniero Mecánico. M.Sc. Ciencia de los Materiales. Universidad Central de Venezuela. Profesor Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Grupo de Pulvimetalurgia (GPM). Correo E.: tolosa@ula.ve

***Ingeniero Forestal. M.Sc. Tecnología de Productos Forestales. Universidad de Los Andes. Profesor Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA). Correo E.: ninin@ula.ve

****Ingeniero Mecánico. PhD. Universidad Politécnica de Valencia. Profesor Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Grupo de Diseño y Modelado de Maquinas (DIMMA). Correo E.: cbloem@ula.ve

*****Ingeniero Mecánico. PhD. Universidad de Nottingham. Profesor Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Grupo de Pulvimetalurgia (GPM). Correo E.: robertog@ula.ve

Abstract

A documentary synthesis was performed about diverse materials used in the sawmill industry, a historical overview in materials evolution commonly used in the cutting tools. A description and a comparison was made with the requirements which will be submitted with special emphasis on treatment and techniques to enhance their mechanical and tribological presentations, detailing the different phenomena that occur in each situation. A desegregation of the main metal alloys that make up the bandsaws for primary processing of wood was made, alloys and carbides used as reinforcement material on the teeth, superficial and thermic treatments most commonly used which can access sawmills to obtain additional benefits in cutting tools.

Key words: Cutting tools, sawing, wood, materials engineering, thermal treatment, wear.

Introducción

La industria del aserrío en Venezuela

Las empresas transformadoras primarias, como la industrial del aserrío, tienen gran importancia para la cadena de suministro, asumen la función de mecanizar la materia prima proveniente del bosque o las plantaciones, hasta transformarla en productos semi-elaborados que serán suministrados al resto del parque industrial transformador (procesamiento secundario) del país.

Según Ninin (1986) y Sarache (2000), el desgaste de las herramientas de corte es un proceso natural y progresivo producto del roce y la fricción que se ejerce entre la herramienta de corte y la materia prima, en este caso es la madera. En virtud de ello, empresas transformadoras de países con alta industrialización y desarrollo del sector de los productos forestales como Canadá, Estados Unidos, Alemania, Suecia, Dinamarca, Noruega, Finlandia, Italia, Brasil, Chile, entre otros, han adoptado medidas para mitigar los efectos del desgaste sobre las herramientas de corte en el procesamiento primario de la madera, principalmente siguiendo adecuadas técnicas

de afilado, selección correcta de los parámetros geométricos de las herramientas según el tipo de madera a procesar, ejecución de las operaciones de corte siguiendo adecuados parámetros inherentes al proceso y cada vez un mayor auge del uso de la Ingeniería de Materiales sobre las herramientas de corte (Trejo, Tolosa & Ninin, 2013).

En Venezuela, según el Directorio Nacional de Industrias Forestales publicado en mayo del 2012 por la Dirección General de Industrias Madereras del Ministerio del Poder Popular para Industrias (MPPI), existen registradas (formalmente establecidas) un total de 307 empresas transformadoras, entre Transformadoras Primarias (Aserraderos) y Transformadoras Secundarias (carpinterías). Según encuesta realizada en septiembre del 2012, se observa que, de las 307 empresas transformadoras existentes en Venezuela, menos del 2% de las empresas totales emplean materiales de refuerzo sobre las herramientas de corte en el aserrado de la madera y casi un 80% del total, conoce muy poco o desconoce totalmente los beneficios y metodologías para la aplicación de materiales de refuerzo a través de la ingeniería de superficies, sin incluir las empresas que aún no están registradas, ni las empresas que se encuentran en proyecto, las cuales integran la totalidad del parque industrial transformador de la madera de Venezuela (Trejo *et al.*, 2013).

Es importante resaltar que Venezuela cuenta con cerca de 500.000 hectáreas de plantaciones de Pino Caribe (*Pinus caribaea var. hondurensis*), de las cuales aproximadamente 350.000 hectáreas corresponden a plantaciones con 10 o más años de edad, es decir, árboles maduros y próximos a su aprovechamiento. En la actualidad la empresa estatal Maderas del Orinoco C.A., antiguamente CVG PROFORCA, abastece a la pequeña y mediana industria (PyMI) nacional con cerca de 750.000 m³ rollizos / anuales de pino caribe como materia prima para el sector transformador primario (aserraderos).

Actualmente el 80% de la disponibilidad de materia prima es por parte del sector público, pero tiene capacidad de aprovechar

y transportar sólo para el 24% y del 9% para aprovechamiento industrial (capacidad de aserrar madera) (Ministerio del Poder Popular para Industrias (MPPI), 2014). De igual manera el MPPI (2014), estima que para el año 2019 la producción de madera aserrada del sector público será del 54%, la de tableros del 39% y la de papel del 100%. Es importante destacar, que en los tres (3) rubros mencionados anteriormente se emplean herramientas de corte para la transformación de su materia prima (madera) a subproductos y productos terminados, los cuales experimentarán las acciones naturales y progresivas del desgaste de sus filos.

Según Ninin & Rosso, 2006, realizaron ensayos exploratorios sobre la abrasividad de ese mismo Pino Caribe en el canteado-cepillado tanto en la madera juvenil como en el leño maduro, realizando comparaciones experimentales con la abrasividad producto del procesamiento de la madera de Chupón (*Pouteria reticulata*) la cual es considerada como una madera altamente abrasiva por su dureza y su considerable cantidad de sílice. En los resultados obtenidos, se destaca un mayor desgaste de la herramienta que procesó la madera de chupón, luego la herramienta que procesó la madera madura de pino caribe ubicada en el tercio más cercano a la periferia de la rola y luego la herramienta que procesó la madera juvenil de Pino Caribe ubicada en el primer tercio hacia el centro de la rola. Es importante resaltar que en todos los casos, se utilizó herramientas sin recubrimientos de refuerzo, es decir, herramientas de aceros rápidos o HSS (*High Speed Steel*).

Al observar los resultados de dicha investigación (Ninin & Rosso, 2006), es necesario destacar que la madera madura de Pino Caribe de la Orinoquia resultó ser 1,47 veces más abrasiva que la madera juvenil del mismo árbol y resultó ser solamente un 34 % menos abrasiva que la madera de Chupón, la cual es considerada una madera de mucho cuidado para su procesamiento por su alta dureza y alta abrasividad que desgasta prematuramente las herramientas de corte.

Esta información evidencia la necesidad de reforzar y divulgar diversas investigaciones e información especializada que

consoliden la factibilidad técnica y económica de emplear distintos tratamientos que contribuyan a mitigar los efectos del desgaste al utilizar materiales de recubrimiento sobre las herramientas de corte en el procesamiento de la madera, tal es el caso del tradicional estelita (aleación cobalto - cromo - tungsteno), el cromo electrolítico, aleaciones de titanio, compuesto de níquel químico, entre otras.

En este mismo sentido, García & Moya (1998), investigaron experimentalmente la eficiencia de dos (2) herramientas de cortes (sierras de cintas), una con recubrimiento con estelita y otra sin ningún recubrimiento. Ambas sierras se emplearon en el aserrado de una especie presente en Costa Rica, la cual es considerada como una madera dura y altamente abrasiva por su contenido de sílice, obteniendo como resultado una notable disminución del desgaste por área y considerable reducción de la velocidad del desgaste de las herramientas recubiertas con estelita frente a las herramientas sin recubrimiento.

Contreras (2010), afirma que con los adelantos en investigaciones y desarrollos tribológicos gracias a la nanotecnología, en los últimos años se han realizados avances importantes en la implementación de materiales nanoestructurados y materiales con excelentes prestaciones tribológicas, con lo cual se han disminuido e incluso eliminado el uso de lubricantes, ofreciendo con esto un potencial ahorro económico sobre las industriales.

El ignorar los beneficios de la tribología, deriva en desgastes, calentamiento, pérdida de energía y potencia, lo cual redundaría en un costo elevado para el ambiente y en fuertes presiones sobre la economía de las empresas. Trejo *et al.*, (2007), demostraron experimentalmente que existe una estrecha relación entre el desgaste de los dientes de las sierras de cinta en el procesamiento primario de la madera y la rugosidad del metal que conforma los dientes, ya que al lograr disminuir la rugosidad del metal (coeficiente de fricción) presente en los dientes de las sierras de cinta (caras de corte y gargantas de los dientes), se logró una considerable reducción del desgaste de las herramientas de corte.

De igual manera, Trejo, Ninin & Rosso (2011), destacaron que mientras mayor sea el coeficiente de fricción entre la herramienta y la madera, el cual está representado por una alta rugosidad en las caras de corte y en los fondos de gargantas de las sierras, así como por la incidencia de filos poco precisos con aristas deterioradas, líneas de corte con poca agudeza y presencia de residuo metálico en forma de rebabas, mayor será la cantidad de productos o piezas aserradas que presentarán variaciones dimensionales tan considerables como para ser catalogados como productos defectuosos o no conformes dentro de los Límites de Tolerancia Natural establecidos por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) y la *Southern Pine Inspection Boreau* (SPIB).

Bien es sabido que para llevar a cabo el proceso de aserrado de la madera, es necesario emplear diversas herramientas de corte superpuestas o colocadas sobre maquinarias especializadas para el corte llamadas sierras, como mejor se aprecia en las figuras 1 y 2, las cuales deben estar adecuadas a las exigencias del proceso, puesto que el aserrado es una técnica bien compleja e implica vencer la resistencia de la madera por medio de los filos y las caras de los elementos cortantes, las cuales permiten arrancar el material en forma de viruta.



Figura 1. Aserrado de madera empleando una sierra de cinta doble vertical (izquierda) y sierra de cinta single (derecha).
(Fuente: El Autor.)

El procesamiento de la madera está influenciado por diversos factores, los cuales están asociados a tres (3) grandes grupos. Un primer grupo, por todos aquellos factores inherentes a la materia prima (especie, propiedades mecánicas, constitución química, contenido de humedad, temperatura), un segundo grupo por todos aquellos factores inherentes a las herramientas de corte (características geométricas de las herramientas, agudeza de los filos, fricción con la madera), y un tercer gran grupo por todos aquellos factores inherentes a las condiciones de corte (velocidad de la herramienta, velocidad de alimentación, espesores de viruta, alturas de corte, anchos de corte), pero es bien importante hacer más énfasis en el empleo de materiales de refuerzo y la ingeniería de superficies en el procesamiento de la madera.

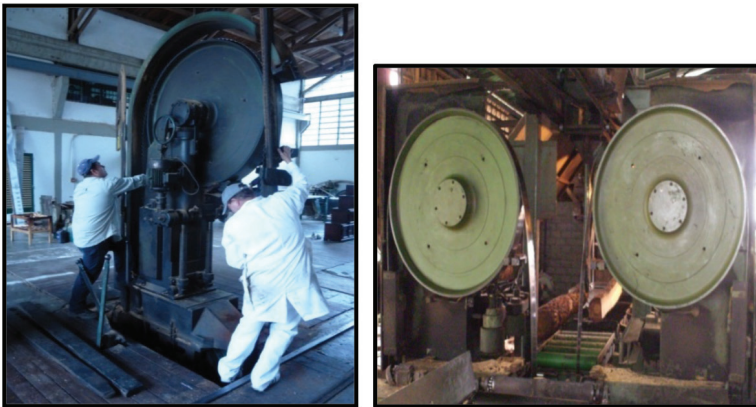


Figura 2. Izquierda: Sierra de Cinta marca BRENTA (Italiana) del Laboratorio Nacional de Productos Forestales LNPF-ULA, Mérida – Venezuela. Derecha: Sierra de Cinta doble vertical marca MEM (Francesa) de la empresa estatal Maderas del Orinoco C.A. (antiguamente CVG PROFORCA) Puerto Ordaz -Venezuela. (Fuente: El Autor).

Las láminas de sierra de cintas, provienen de flejes comerciales, los cuales deben ser rectos, planos y libres de tensiones, para darle una buena preparación con relativa facilidad. De igual manera, el trabajo minucioso en la preparación de las herramientas de cortes como se aprecia en la figura 3, debe ser el principal factor a considerar en las empresas transformadoras para limitar las deformaciones, fallas o rupturas y cambios prematuros de las sierras durante el proceso (Muñoz, 1986). En este caso, no se hará énfasis

en las características geométricas de las sierras ni en las condiciones propias del procesamiento, por el contrario se van a considerar los aspectos relacionados con las características propias del material que conforman las sierras de cintas.

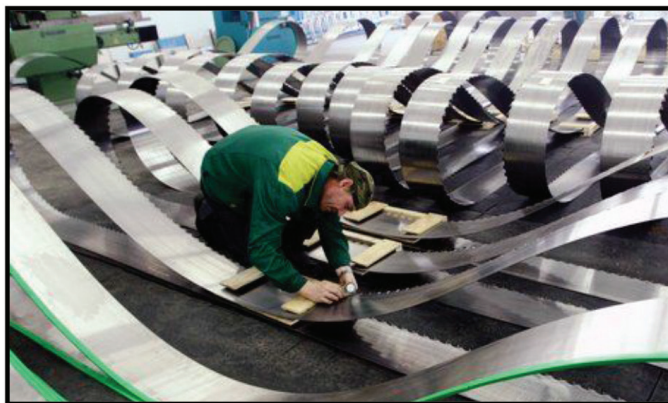


Figura 3. Diagnóstico y preparación de las sierras de cinta para su uso.
(Fuente: Cortesía de la empresa Forézienne).

Selección y descripción de los materiales empleados

Para cumplir los requisitos del proceso de aserrío en la forma más económica y racional posible, se necesita no sólo una máquina eficiente, sino también una lámina capaz de resistir las múltiples y variadas exigencias del corte, puesto que el rendimiento de las sierras va de la mano con las propiedades y características que presente el material que conforma su estructura, el cual deberá resistir los esfuerzos a que estará sometida durante el corte de la madera.

Por tal razón, las láminas u hojas que conforman las sierras de cintas, para cumplir satisfactoriamente las altas exigencias del proceso de mecanizado de la madera, deben ser manufacturadas de un material que reúna las siguientes características (Junta del Acuerdo de Cartagena, JUNAC, 1989):

- a. Alta dureza junto con maleabilidad para poder trabajar y preparar los dientes que conforman la cinta, además los dientes

deberán mantener el filo ante el proceso natural y progresivo de desgaste.

- b. Gran tenacidad frente a los impactos presentes en las operaciones del aserrío de la madera.
- c. Alta flexibilidad y resistencia a la fatiga.
- d. Elasticidad y homogeneidad estructural.

Si se analizan los usos desde el punto de vista real, todas las actividades requieren resistencia a la tracción y tenacidad, por lo tanto es muy extraño encontrar una situación en la cual una propiedad sea necesaria y la otra no, es por ello que el éxito en el diseño del material estará en saber seleccionar el balance más adecuado entre las dos propiedades.

El material que conforma las sierras de cintas para el corte de la madera, debe resistir los esfuerzos debido a la tensión de montaje (tracción) y los esfuerzos que intervienen durante el corte (ver figura 4 y 5). De igual manera se requiere alta resistencia a los impactos, sobre todo en el procesamiento de maderas duras y una alta resistencia al desgaste en el caso de maderas altamente abrasivas.



Figura 4. Izquierda: diente enfrentando el corte (altos impactos por la velocidad de la herramienta y la dureza de la madera). Derecha: dientes evacuando las virutas luego de realizar el corte (fricciones y temperatura producto de la mayor o menor abrasividad de la madera).
(Fuente: El Autor).

Es muy importante resaltar que la resistencia a la abrasión, es la habilidad que presenta un material de resistir el desgaste ocasionado por el rozamiento (González & Mesa, 2004). Como regla general, la resistencia a la abrasión se incrementa con la dureza del material.

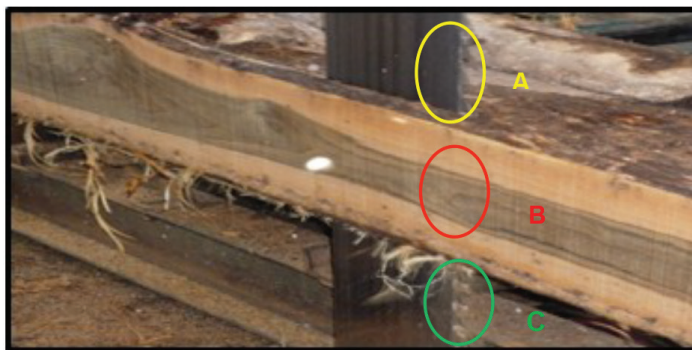


Figura 5. Zona A: mayor concentración de esfuerzos por compresión e impactos. Zona B: mayor participación de los esfuerzos de corte incidiendo en las fricciones. Zona C: mayor concentración de esfuerzos de tracción por la polea motriz.
(Fuente: El Autor)

En vista que la dureza también está relacionada con la resistencia a la tracción, puede deducirse que, cuando mayor sea ésta, mayor será la resistencia a la abrasión, sin embargo, debe recordarse que, a mayor resistencia a la tracción, menor será la tenacidad y puesto que, la mayoría de los usos requieren cierto grado de tenacidad, aumentar la resistencia a la tracción hasta el valor máximo no es necesariamente la solución.

El mantenimiento que se realiza para resolver los problemas que ocasiona el desgaste, debe tender de correctivo hacia preventivo y de ser posible predictivo. Para llevar a cabo estos modelos de mantenimiento, es necesario conocer cuáles son los tipos de desgaste que están ocasionado los problemas y cuál es su naturaleza para finalmente encontrar la manera de disminuirlo (Moreno, 2009).

Diversas sierras que trabajan a una velocidad de corte hasta los 3.300 m/min están sometidas a un esfuerzo de tracción que varía entre 350 y 650 kg/cm² (5.000 y 9.000 PSI o *Pounds-force per Square Inch*), además de ello, existen esfuerzos combinados causados por la

curvatura sobre los volantes, compresión de las partículas interiores de la hoja y tracción de las partículas exteriores de la misma (Ríos, 2005).

Históricamente las sierras de cintas han conservado la forma fundamental que le dio su inventor, la que ha continuado siendo la más efectiva para aserrar. Con el transcurso del tiempo se ha mejorado la calidad del acero y de las soldaduras, lo que ha permitido variar la forma de los dientes y aumentar la productividad.

Entre los principales materiales de corte disponibles actualmente, se tienen cinco grupos básicos (Sales, 1990):

- Aceros (comunes): Dureza Rockwell de 40 a 50
- Aceros rápidos: Dureza Rockwell de 60 a 65
- Estelitas: Dureza Rockwell de 50 a 60
- Carburos duros: Dureza Rockwell de 85 a 95
- Cerámicos: Dureza Rockwell de 90 a 95

Los aceros “comunes” son las distintas variedades de acero, cuyo contenido de Carbono está por el orden de 0,6 a 1,2%. El acero de las láminas de las sierras de cinta (0,6 a 0,8% de Carbono) entran en esta categoría, la dureza se encuentra en un rango de 45 a 50 Rockwell (Sales, 1990).

Los Aceros Rápidos

Dos estadounidenses Taylor y White (1898), fueron los creadores de la aleación conocida como Aceros de Alta Velocidad / HSS (*High Speed Steel*). Los primeros aceros de alta velocidad se obtuvieron adicionando como elemento de aleación al cromo y el tungsteno (Sture, Staffan & Mats, 2000). En esta última forma, la dureza es aumentada con el porcentaje adicionado de tungsteno, pero también la fragilidad de las herramientas. Con el cromo se facilita la solución de los carburos de tungsteno, promueve el endurecimiento y reduce la oxidación. Posteriormente fue añadido otro elemento como el vanadio, con la finalidad de mejorar su

dureza. Luego con la adición de cobalto (cerca de 1921) se mejora la aleación puesto que se incrementa significativamente el umbral de temperatura a la que los aceros rápidos comienzan a perder su dureza (Sture *et al*, 2000).

De esta manera, los aceros rápidos conservan su dureza a temperaturas de hasta unos 650 °C tal como se aprecia en el grafico 1. También se adicionó el molibdeno que mejora las propiedades mecánicas de los aceros rápidos y el titanio es empleado para desplazar al oxígeno, nitrógeno y el azufre en el desarrollo de la aleación, dando lugar a los carburos de titanio que tienen una dureza superior a los carburos de tungsteno (Sales, 1990).

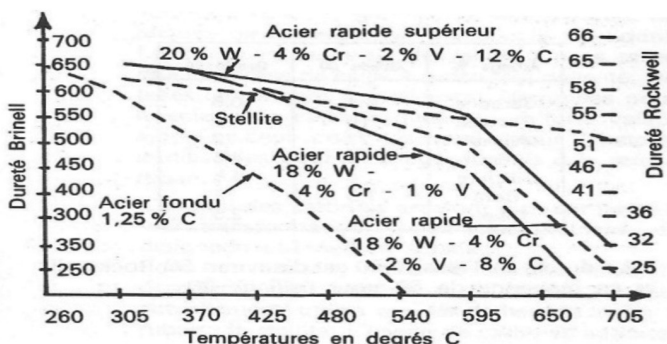


Grafico 1. Influencia de la temperatura sobre la dureza en diferentes materiales empleados en herramientas de corte. (Fuente: Sales, 1990)

La composición varía de acuerdo a los fabricantes y es objeto de un estudio continuo (ver tabla 1). El problema no se limita sólo a la fabricación y composición, sino que se hace necesario que las ventajas obtenidas durante su elaboración sean perfectamente llevadas a la práctica industrial.

Tabla 1. Composición comúnmente empleada del acero de las sierras de cintas

Composición	Acero al Niquel (%)	Acero al Niquel – Cromo (%)
Carbono	0,67	0,8
Silicio	0,20	0,33
Manganeso	0,20	0,38
Niquel	2,20	0,50
Cromo	0,05	0,10
Vanadio	0,02	0,02

(Fuente: Muñoz, 1986)

Aspectos metalúrgicos de las láminas de las sierras de cintas

Una vez lograda la correcta composición del acero de acuerdo a los fines específicos de utilización, la banda es laminada en caliente, purificada y limpiada. Es importante acotar que en el laminado en frío el acero adquiere demasiada dureza por lo que el fleje deberá ser sometido a tratamientos térmicos que incluyen el **temple, recocido y revenido**, para proporcionarle las propiedades finales de resistencia, dureza, tenacidad, elasticidad, maleabilidad y ductilidad deseadas. En este laminado en frío el acero queda endurecido por deformación plástica, por lo cual su estructura granular queda formada por agujas dispersas, irregulares y denominadas Martensita (Trejo *et al*, 2013).

La Martensita se originó de una solución sólida cristalina y homogénea que contiene dos o más especies químicas llamadas **Austenita**, la cual se encuentra formada aproximadamente cuando el acero está a temperatura mayor a 800 °C. Al enfriarse rápidamente (temple), la austenita pasa a formar la martensita. Este enfriamiento brusco ocasiona que no se forme u organice la red simétrica para formar los granos definidos (Kreith & Goswami, 2005).

Si la austenita se deja enfriar en el horno durante un tiempo determinado, lo que se conoce como el proceso de **recocido**, se da tiempo a que se organice la red simétrica y forma los granos definidos con estructura homogénea. A mayor tiempo de recocido menor será la martensita formada, ya que la austenita pasa a formar directamente perlita (cementita + ferrita). **La cementita** (Fe_3C) o carburo de hierro, contiene 6,67% de carbono y es muy dura. **La ferrita** es una solución sólida de una pequeña cantidad de carbono disuelta en hierro, es muy suave (Kreith & Goswami, 2005).

Los aceros después del temple suelen quedar generalmente demasiado duros y frágiles para los usos a que van a ser destinados, es por ello que estos inconvenientes son corregidos por medio del **revenido**, que es un tratamiento térmico que consiste en calentar el acero a una temperatura más baja que su temperatura crítica inferior, enfriándola luego generalmente en aire y otras veces en aceite o

agua, según la composición. El objetivo del revenido no es eliminar los defectos del temple sino modificarlos, disminuyendo la dureza y resistencia, aumentando la tenacidad y eliminando también las tensiones internas que tienen siempre los aceros templados. En este sentido, la *National Aeronautics and Space Administration*, NASA (1970), afirma que es de hacer notar que los aceros aleados que poseen silicio, manganeso, níquel, cromo, vanadio, por ejemplo, requieren una temperatura superior de revenido que los aceros al carbono.

Tratamientos para mitigar el desgaste

En virtud que el desgaste es un proceso natural y progresivo que no se puede eliminar, sólo mitigar a través de técnicas adecuadas de preparación (características geométricas adecuadas) de las herramientas, adecuadas condiciones del procesamiento (espesores de viruta elevados), altos contenidos de humedad de la madera (refrigerante y lubricante) y cada vez un mayor auge del uso de materiales de refuerzo sobre los dientes. En este caso se describe lo concerniente al uso de materiales de refuerzo sobre los dientes de las sierras de cintas en el aserrado de la madera.

Generalmente, para minimizar los efectos del desgaste se emplean materiales que ofrecen cierta resistencia al desgaste, sobre todo en las aristas de los dientes. La solución consta de emplear un material diferente que aporte propiedades de dureza, la cual conserve sus propiedades y características a altas temperaturas, así como también ofrezca beneficios tribológicos al disminuir el coeficiente de fricción entre la madera y la herramienta (Trejo *et al.*, 2013).

Aleación Cobalto - Cromo - Tungsteno (Estelita)

La estelita es una aleación metálica que data de 1916, la cual fue formulada originalmente por Ellwood Haynes. Se compone principalmente de cobalto (45 a 60%), cromo (25 a 35%), tungsteno (9 a 18%), contiene muy poco hierro (por lo general menos del 5%), manganeso y silicio (menos del 1%), consideran impurezas normales (Prado & Facchini, 2009). Es importante resaltar que la estelita no

es notablemente más dura que el acero de las sierras, su beneficio radica principalmente que su dureza casi no varía con el incremento de la temperatura, tal como se aprecia en el gráfico 1.

Por otro lado, NASA (1970) y Castillo & Villa (2005), afirman que otra cualidad de la estelita que ha contribuido a su desarrollo es la facilidad de aplicación, puesto que presenta un bajo punto de fusión (1.300 °C), lo cual hace que se pueda alcanzar con un simple equipo de oxiacetileno, aunque no es tan recomendado como las soldaduras TIG / *Tungsten Inert Gas* con la estelita como material de aporte (Trejo *et al*, 2013).

La estelita es de aleación ligera y se deposita en forma de gotas de líquido en las aristas de los dientes, que luego del enfriamiento y un consecuente endurecimiento, se realiza un rectificado con una piedra abrasiva para dar su forma y acabado final. La simplicidad de la técnica, sumada a las ventajas del material, es sin duda alguna el origen del gran éxito de la estelita como material de refuerzo en el aserrado de maderas. Al comienzo de la introducción de la estelita en el aserrado de la madera, había principalmente cuatro grados de estelita (grado 1, 6, 8 y 12). El grado 6 se funde a 1.310 °C y el grado 8 a 1.380 °C, lo que hace más difícil la técnica de recubrimiento. Los grados 1 y 12 se funden a 1.250 °C, los cuales se utilizan actualmente, tal como se observa en la tabla 2 (Sales, 1990). La dureza de la estelita grado 12 es aproximadamente de 50 Rockwell y el de grado 1 es de 65 Rockwell (Sales, 1990). Son un poco más suaves que los aceros rápidos (aleados), pero logran mantener la dureza a altas temperaturas, donde los aceros rápidos quedan inutilizables como mejor se aprecia en el gráfico 1.

Tabla 2. Composición de los principales grados de estelita

Nomenclatura Francesa	Grado 1	Grado 12
Nomenclatura Americana	Estelita 20	Estelita 12
Carbono	2,5%	1,8%
Cromo	33%	30%
Tungsteno	13%	9%
Cobalto	50%	58%
Otros	1,5%	1,2%

(Fuente: Sales, 1990)

Existe otra clase de aleaciones basadas en níquel (ver tabla 3), muy similar a las propiedades de las estelitas grado 1 y 12 y muy utilizadas en el Reino Unido en la industria del aserrío, las cuales se conocen como aleaciones de base níquel de grado 50 y grado 60 (Sales, 1990).

Tabla 3. Composición de otras aleaciones empleadas en base Níquel

Aleación	Grado 50	Grado 60
Carbono	0,4%	0,5%
Cromo	10%	15%
Níquel	77%	70%
Hierro	4%	4,5%
Silicio	4%	4,5%
Boro	1,5%	3%
Otros	3,1%	2,5%

(Fuente: Sales, 1990)

Estelitado Manual

Es una tarea de expertos y prácticamente artesanal. El tiempo y la dedicación requerida en cuanto a horas-hombre son muy superiores que los requeridos en un proceso empleando maquinarias y equipos automatizados, no sólo por la preparación de la sierra de cinta, sino por la forma precisa y casi perfecta que exige la operación (ver figura 6).

La aplicación de los recubrimientos con estelita mediante soldaduras con equipos de oxiacetileno, a pesar de ser una solución para los aserraderos poco automatizado y de mediana a baja producción, es una técnica de mucho cuidado puesto que requiere de una alta pericia y conocimientos metalúrgicos ya que es más complicado controlar las temperaturas, lo cual puede variar las especificaciones recomendadas de los materiales (recubrimiento y sustrato), así como posibles contaminantes de la aleación producto de la combustión del oxígeno y el acetileno, provocando fallas de fracturas del material durante el proceso de corte. Sin embargo, las prestaciones tribológicas adquiridas mediante estos recubrimientos con estelita, ameritan un esfuerzo en inversión o capacitación para una aplicación automatizada o manual, pero con técnicas adecuadas.



Figura 6. Aplicación de estelita manual con equipo de oxiacetileno
(Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena, JUNAC, 1989).

En el caso de una aplicación manual por medio de equipo oxiacetileno, se recomienda precalentar las varillas de estelita, luego con el soplete del oxiacetileno ir fundiendo gota a gota la varilla sobre cada diente y realizar un enfriamiento controlado con el soplete, alejándolo lentamente y asegurando que la temperatura del conjunto diente-estelita se va reduciendo paulatinamente. Al finalizar todo el proceso de estelitado, es necesario realizar un cuidadoso revenido sobre el metal de cada diente con el mismo soplete, empleando como apoyo el movimiento de avance de las afiladoras de sierras de cintas. Otra manera de realizar un estelitado manual de forma más adecuada, es mediante la utilización de un equipo para **soldaduras TIG** (*Tungsten Inert Gas*) o también conocida como GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) pero con material de aporte que en este caso será la estelita, en la cual mediante la incorporación del argón y/o helio se crea una atmósfera inerte que desplaza el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera que envuelve el baño de fusión y evita posibles oxidaciones e incorporación de impurezas en la aleación (Kalpakjia & Schmid,2002).

Estelitado por soldaduras con Resistencia Eléctrica

Viene dado por un proceso de soldaduras mediante resistencia eléctrica, donde se empieza por calentar el acero de la punta del diente y la varilla de la estelita, mediante la exposición a una

corriente eléctrica de alta intensidad (Amper) y baja tensión (V). Luego, se deja que ambos materiales empiecen a recocerse (alcanzar la temperatura óptima para su unión), y al alcanzar la temperatura necesaria se funden el uno contra el otro de manera homogénea (Trejo *et al*, 2013).

Estelitado por soldaduras por Plasma

En este proceso primero se calienta el acero de la hoja sierra, luego de un tiempo determinado, se calientan los metales mediante una elevada corriente eléctrica generada por el arco que como consecuencia, permite que la estelita se funda sobre la punta del diente del metal base o sustrato (la hoja de la sierra) como mejor se aprecia en la figura 7. Por este método se consiguen uniones más fuertes ya que el grosor de la estelita sobre el diente es mucho mayor, el calentamiento y enfriamiento es completamente controlado a través de gradientes de incrementos de temperatura y la misma maquinaria está equipada para realizar el revenido localizado y de forma controlada sobre los dientes de la sierra. Por esta razón, es el método más recomendado puesto que es la técnica mejorada producto de los avances tecnológicos, pero que lleva inmerso un elevado costo de inversión inicial.

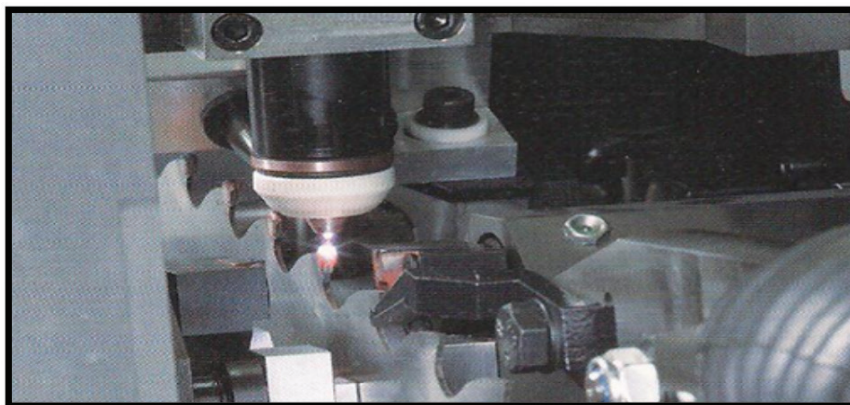


Figura 7. Equipo de Estelitado por soldaduras por Plasma
(Fuente: Cortesía de la empresa VOLLMER)

Los Carburos Metálicos

Su descubrimiento aplicado industrialmente se le atribuye a la famosa acería alemán Krupp Stahl AG, en la cual llegó a usar muy a menudo el término comercial de “Widia” como simplificación de su original *Metall Hard Wie Diamant* (Metal duro como el diamante), que todavía es ampliamente utilizado en muchos países para referirse a las herramientas de carburo (Callister, 2003).

En estas aplicaciones, las herramientas están protegidas mediante una aplicación tecnológica por pequeñas plaquetas de carburos (Widia). Estos carburos no son aleaciones sino aglomerados de diferentes materiales, los cuales se obtienen por sinterización y el principal compuesto es el carburo de tungsteno, el carburo de tantalio o carburo de titanio con una aglutinante de cobalto o níquel. En su registro original, se utilizó el carburo de tungsteno-cobalto (Sture *et al*, 2000).

El polvo de base obtenido mediante la mezcla de cobalto y el material resistente al desgaste (metal duro) se elabora, se comprime y luego a la temperatura de fusión del aglutinante se sinteriza en un proceso que se conoce con el nombre de **Pulvimetalurgia**. Luego del sinterizado y al enfriar, se obtiene el material cuya dureza y propiedades mecánicas varían con el tamaño de los carburos y su porcentaje de cobalto, como mejor se sintetiza en la tabla 4 (Contreras, 2010). Este material obtenido presenta una dureza impresionante, pero frágil, por tal razón, la elección de la adecuada composición requiere un estudio detallado (Sales, 1990).

Tabla 4. Composición de las principales variedades de carburo de tungsteno empleado

Carburo de tungsteno (%)	Cobalto (%)	Observaciones
97	3	Muy duro pero frágil
94	6	Menos duro pero frágil
88	12	Buena resistencia al impacto y dureza bien satisfactoria para el aserrado de la madera

(Fuente: Sales, 1990)

La superioridad de una herramienta con carburo de tungsteno en condiciones óptimas sobre una herramienta de acero de buena calidad está por el orden de 1 a 50, lo cual favorece el empleo de este material (Sales, 1990). Igualmente existen otros tipo de carburos de gran dureza, sobre todo los carburos de boro u otros compuestos derivados del boro, como el nitruro de boro, los cuales se utilizan generalmente como material para discos de corte para el mecanizado y está caracterizado por un nitruro de boro de estructura cristalina cúbica centrada en las caras (FCC / *Face Centered Cubic*) (ver figura 8).

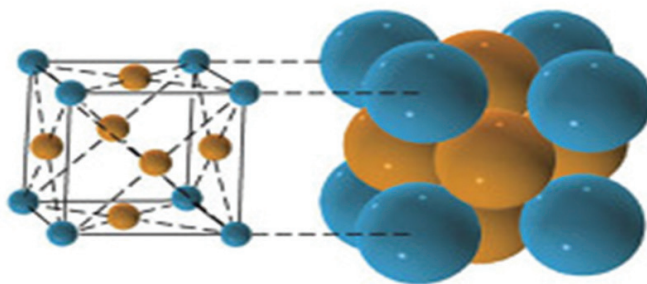


Figura 8. Arreglo atómico (estructura cristalina) Cúbica Centrada en las Caras (FCC – *Face Centered Cubic*).
(Fuente: Trejo *et al*, 2013).

Consideraciones generales

✓ Beneficios aportados

- a. Disminuye el coeficiente de fricción entre la madera y la sección de corte de la herramienta.
- b. La dureza es alta y se mantiene a altas temperaturas durante el mecanizado.

✓ Defectos de sus cualidades

- a. Son frágiles y presentan poco resistencia al impacto.
- b. La presencia de cuerpos extraños provenientes del bosque, es tan riesgoso de ocasionar daños irreversibles a las herramientas.

- c. El uso de los carburos se limita actualmente al procesamiento secundario (sierras circulares), salvo la condiciones del empleo de la estelita, el cual tiene un gran auge sobre el procesamiento primario empleado en sierras de cintas incluso sobre sierras de discos.

d. El Cromado duro

Es un proceso de galvanía, el cual consiste en deposiciones electrolíticas de cromo, esencialmente en pequeñas capas en forma de películas delgadas de varias decenas de micras de espesor (10 a 20 micras en promedio) (ver figura 9). Esta técnica se adapta bien a la mayoría de los aceros, incluyendo los aceros rápidos (Prado & Facchini, 2009).



Figura 9. Cromado duro por electrólisis sobre Sierras de Cintas para el aserrado de la madera.
(Fuente: Trejo *et al.*, 2013)

La constitución de la solución base es de ácido crómico (H_2CrO_4) diluido en alrededor de 250 g/l. La dureza de capa de cromo obtenida en estos depósitos es de 65 Rockwell, incluso puede alcanzar los 70 Rockwell dependiendo de la calidad del tratamiento (Prado & Facchini, 2009 y TECNOCROM INDUSTRIAL, 2011).

En el aserrado, el desgaste se concentra hacia la arista de los dientes, predominantemente hacia las caras de corte de los dientes, cara libre (dorso) y las aristas que conforman los extremos de los valores de traba (sobre ancho del diente). En tal razón, esta técnica es particularmente atractiva puesto que disminuye la fricción en el

corte, pero sigue siendo limitada, por las dimensiones de las láminas de las sierras de cintas (Trejo *et al*, 2013). Esta técnica es fácilmente aplicable a las sierras circulares y mayor aun a las sierras circulares con dientes extraíbles. Existen demostraciones con excelentes resultados obtenidos en investigaciones a partir del cromado duro de dientes en aceros rápidos de sierras circulares en el aserrado de maderas altamente abrasivas (Sales, 1990). Sin embargo, existe una carencia en información referente a investigaciones relacionadas con el cromado de sierras de cintas, debido a la dificultad de la aplicación y desarrollo de esta técnica. (Trejo *et al*, 2013).

Los Tratamientos Térmicos

La temperatura en los dientes de las herramientas de corte en servicio juega un papel determinante sobre la resistencia al desgaste. A temperatura ambiente todos los aceros experimentan una dureza satisfactoria o mejor aún, presentan un comportamiento extremadamente estable, sin embargo, todas sus prestaciones mecánicas disminuyen considerablemente a medida que su temperatura se va incrementando superior a los 250 °C (Sales, 1990).

En este caso, la pérdida de dureza se traduce en un rápido desgaste y deformaciones de las puntas de los dientes como efectos de las presiones excesivas entre la madera y la herramienta, originando una deformación (aplastamiento) de los bordes (aristas). Este incremento de la temperatura de los dientes depende principalmente de la especie procesada (materia prima) y las condiciones del procesamiento (condiciones de corte).

Un diente entrando en el corte, a temperatura ambiente en una madera densa y dura puede experimentar un notable incremento en la temperatura de la punta del diente, lo cual aumenta con el espesor de viruta y la altura de corte, pudiendo para el caso del mecanizado de maderas muy densas alcanzar los 400 °C (García & Moya, 1998). En tal sentido y aprovechando los fenómenos ocurridos y las variaciones de las propiedades de los aceros frente a los cambios de temperatura, se han obtenido grandes beneficios para las herramientas empleadas en el corte de la madera gracias a la aplicación de diversos **tratamientos térmicos**.

Esto se refiere a la posibilidad de conferirle a los dientes de las herramientas de corte una mayor dureza mediante la aplicación de un tratamiento con una moderada temperatura sobre la dentadura. Este tratamiento térmico se descompone en tres (3) fases:

- Calentamiento hasta la temperatura de austenización (según el diagrama de fases).
- Enfriamiento (temple controlado)
- Calentamiento (recocido) a una temperatura inferior que la de austenización, según el diagrama de fases correspondiente a la aleación (ver gráfico 2).

✓ Austenización

Este tratamiento endurece el acero pero de igual manera lo fragiliza. Estas temperaturas vienen dadas por el diagrama de fases hierro - carbono del gráfico 2. Para los aceros aleados, la presencia de cromo, silicio, tungsteno y/o molibdeno incrementan ligeramente la temperatura del tratamiento (Askeland & Phule, 2004).

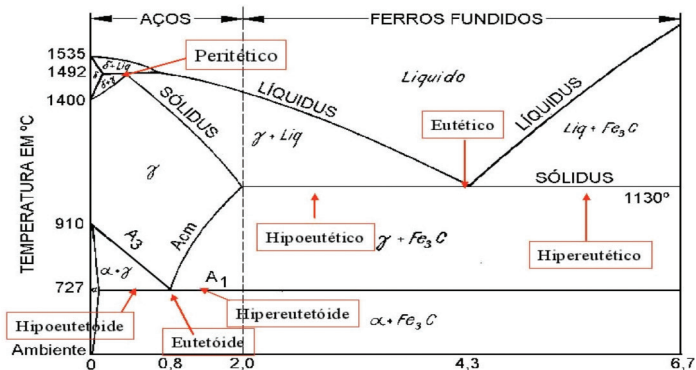


Gráfico 2. Diagrama de Fases Hierro – Carbono (Aceros)

(Fuente: Trejo et al, 2013).

La temperatura austenización promedio es de 850 a 900 °C para una sierra de acero convencional, en donde la dureza luego del enfriamiento alcanza los 45 a 65 Rockwell, con una resistencia a la tracción entre 1.100 a 1.500 MPa (Askeland & Phule, 2004).

✓ Temple y Revenido

El temple y el revenido se utilizan ampliamente para mejorar las propiedades de resistencia de los aceros y conferirles dureza y altas propiedades cortantes a los aceros de herramientas. Por temple se comprende la fijación de las estructuras a temperatura normal, que son propias de temperaturas altas, por tal razón, las estructuras templadas son inestables (físicamente metaestables) (Ashby, 1999). Si el acero se enfría rápidamente desde la zona de **austenita**, el carbono no puede desprenderse y como es imposible detener la transformación de hierro gamma a hierro alfa con capacidades de disolución de carbono muy diferentes, se produce una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa que se conoce como **martensita** (Kreith & Goswami, 2005).

La estructura de la martensita es inestable, con una gran dureza y fragilidad considerable. Esta dureza es tanto mayor cuanto más cantidad de carbono esté disuelto en esta, y se explica por el fenómeno de que su red cristalina está muy deformada por los átomos de carbono. Esto hace que el cristal elemental de la red cristalina de la martensita no sea cúbica (figura 8) sino tetragonal (figura 10), lo que a su vez dificulta su deformación plástica.

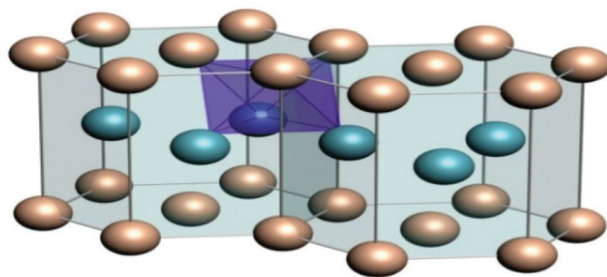


Figura 10. Arreglo atómico (estructura cristalina) Hexagonal Compacta o Tetragonal (HCP – *Hexagonal Close Packed*).
(Fuente: Trejo *et al*, 2013).

El acero tiene la capacidad de ser templado si contiene más del 0,3% de carbono (Askeland & Phule, 2004). El enfriamiento para el proceso de templado puede efectuarse a diferentes velocidades

de acuerdo a los fines perseguidos y del tipo de acero (cantidad de carbono y otros elementos aleantes), los más usados son:

- Agua
- Aceite
- Sales fundidas
- Soluciones salinas
- Y hasta el aire para ciertos aceros aleados

El proceso de enfriamiento posterior a la austenización, condiciona la resistencia mecánica del acero, el cual debe ser cuidadoso, puesto que si este se abusa, va a generar una fragilización y una pérdida de resistencia según lo mencionado anteriormente.

Askeland & Phule (2004), recomienda que la velocidad óptima de endurecimiento oscila entre 3 y 11 °C/s. La resistencia mecánica después del endurecimiento varía poco dentro de este rango, dejando una seguridad lo suficientemente grande para el propósito del tratamiento (Agüero, 2007).

✓ **Recocido**

El recocido está destinado a reducir la fragilidad del acero producto del temple, aunque con esto también se sacrifica dureza. Es por ello que se necesita encontrar el mejor balance entre tenacidad y dureza. La temperatura idónea para un recocido para un acero usualmente empleado está por el orden de los 500 °C (Askeland & Phule, 2004). Según Agüero (2007), el recocido tiene diferentes objetivos en el tratamiento térmico del acero y generalmente se aplica para eliminar tensiones residuales, acritud (endurecimiento por deformación plástica en frío como cuando se realiza el recalado de los dientes).

Conclusión

Los grandes avances tecnológicos logrados por la ciencia moderna han contribuido con el descubrimiento y desarrollo de materiales de ingeniería, ingeniería de superficies y mejoras en los

procesos de fabricación. Una adecuada selección de materiales y procesos, garantiza a los diseñadores de partes mecánicas y de herramientas de corte su correcto funcionamiento (*performance*) de los componentes diseñados.

La industria del aserrío y del mecanizado de diversos materiales requiere de continuos desarrollos tecnológicos en la búsqueda de materiales con altas prestaciones mecánicas, metalúrgicas, tribológicas, entre otras, con la finalidad de contribuir con las continuas dificultades presentadas en los procesos industriales rutinarios. En tal sentido, es necesario conocer a profundidad las necesidades y exigencias a las cuales estarán sometidas las herramientas, pues en virtud de tales requerimientos será necesario apoyarse en los desarrollos tecnológicos y avances de la ingeniería de los materiales para obtener y comprender los fenómenos ocurridos en el interior de las herramientas frente a los procesos de producción.

En el campo de la **Tecnología de los Productos Forestales**, la **Ingeniería de los Materiales** juega un papel primordial, puesto que en todos sus procesos hay esfuerzos, cortes, presiones, fricciones, temperaturas, desgastes, deformaciones y fallas o fracturas de materiales. Por esto y en virtud de los resultados obtenidos por Ninin & Rosso (2006), respecto a los ensayos exploratorios realizados sobre la abrasividad del Pino Caribe venezolano, la cual es considerada una madera de obra, englobada dentro de las maderas blandas, con mayor auge nacional, y por lo visto con cierto grado de abrasividad (mayor en la madera adulta respecto a la madera juvenil), sumado al desconocimiento y desuso de los materiales de refuerzos sobre las herramientas de corte, justifican la atención hacia una mayor y más eficaz asistencia técnica de las industrias del país en el área descrita en el manuscrito, para así abordar el atraso tecnológico presente en la industria de la madera venezolana.

Si se consideran los beneficios aportados por la ingeniería de materiales sobre la tecnología de la madera y se hace mayores esfuerzos en adaptar prácticas tradicionales por técnicas novedosas, se logra no sólo mejorar la rentabilidad de las industrias madereras,

sino que también se amplía el abanico de oportunidades al lograr aprovechar eficientemente otras especies maderables poco consideradas o relegadas por su dificultad de aserrío, sin poner en peligro algunas especies por su aprovechamiento selectivo como históricamente ha ocurrido en Venezuela.

Recomendaciones

1. En virtud de la actual necesidad de adecuación tecnológica que presenta el sector industrial transformador de la madera en Venezuela y las nuevas industrias en construcción, se recomienda hacer mayores esfuerzos en lo que a mantenimiento de herramientas de corte se refiere, considerando las diversas alternativas disponibles para proteger y reforzar los filos, con lo cual se obtienen los productos (madera aserrada), puesto que se ha demostrado en diversas investigaciones que hasta el Pino Caribe venezolano (madera blanda y de amplia utilidad en todo el país) ocasiona un considerable desgaste en las herramientas de corte.
2. Desarrollar y ejecutar una campaña de promoción y capacitación de alto nivel académico en lo relativo al mantenimiento y adecuación de las herramientas de corte ante las recientes metodologías empleadas para maximizar las prestaciones tribológicas, que apoye y asista a la Pequeña y Mediana Industria (PyMI) del procesamiento de la madera en Venezuela así como a empresas de alto impacto nacional como la empresa estatal Maderas del Orinoco, y ahora PDVSA Industrial con su incursión en el área del aserrío de la madera.
3. Ampliar investigaciones comparativas relacionadas con procesos de endurecimientos y recubrimientos superficiales como el caso de la nitruración, cromado duro, níquel químico, proyección térmica sobre diversas herramientas de corte en el procesamiento de diversas maderas.
4. Desarrollar investigaciones bajo la modalidad de proyectos factibles para identificar diversos materiales que se puedan

emplear en la promoción de la sustitución o reducción de las importaciones de los tradicionales materiales de refuerzos empleados en la industria de la madera como la estelita y la widia, bien sea a través de fundiciones, soldaduras o pulvimetalurgia.

Agradecimientos

A los Profesores del Grupo de Pulvimetalurgia (GPM) así como a los Profesores del Grupo de Diseño y Modelado de Maquinas (DIMMA) de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes, a la Revista Forestal Latinoamericana del Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA) por la publicación de este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- AGÜERO, A. (2007). Ingeniería de superficies y su impacto medioambiental. **Revista de Metalurgia**, 43: 63-75.
- ASHBY, M. (1999). **Materials selection in mechanical design**. Tercera Edición. Inglaterra. Elsevier.
- ASKELAND, D. & PHULE, P. (2004). **Ciencia e Ingeniería de los Materiales**. Cuarta Edición. México, Thomson.
- CALLISTER, W. (2003). **Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales**. Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería. Universidad de Utah, EEUU.
- CASTILLO, M. & VILLA G. (2005). Estudio del comportamiento mecánico – metalúrgico de aleaciones Inconel 600 y Estelita. **Revista Científica** Vol. 9 (1):13-22.
- CONTRERAS, A. (2010). **Materiales nanoestructurados: Comportamientos tribológicos**. (Consultado: 27 de septiembre de 2011). Disponible en: <http://ingenieriademateriales.wordpress.com/2010/02/24/materiales-nanoestructurados-comportamiento-tribologico/>.

- GARCÍA, R. & MOYA R. (1998). ***El aserrío de Dialium guianense (Aubl) Sandwith en Costa Rica***. Centro de investigación en integración Bosque Industria. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- GONZÁLEZ, H. & MESA D. (2004). La importancia del método en la selección de materiales. ***Scientia et Technica***. [En línea], Universidad Tecnológica de Pereira. [Consultado: 24 de enero de 2012]. Disponible:http://clasev.net/v2/pluginfile.php/16192/mod_resource/content/0/Contenido_del_Curso.pdf.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. JUNAC. (1989). ***Manual del Grupo Andino para el aserrío y afilado de sierras de cintas y sierras circulares***. Lima – Perú.
- KALPAKJIA, S. & SCHMID, S. (2002). ***Manufactura. Ingeniería y Tecnología***. Cuarta Edición. México. Prentice Hall.
- KREITH, F. & GOSWAMI, Y. (2005). ***The CRC Handbook of Mechanical Engineering***. Segunda Edición. EEUU. CRC Press.
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA INDUSTRIAS. MPPI. (2012). ***Directorio Nacional de Industrias Forestales. Empresas inscritas en el registro nacional de industrias forestales***. Venezuela.
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA INDUSTRIAS. MPPI. (2014). ***Plan estratégico del sector industrial venezolano***. Venezuela.
- MORENO, M. (2009). ***Estudio experimental de propiedades mecánicas y tribológicas de recubrimientos de CrN sobre aceros AISI 316 y H-13 obtenidos por la técnica de erosión catódica reactiva magnetrón (spruttering)***. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México.
- MUÑOZ, A. (1986). ***Técnica de preparación y reparación de herramientas cortantes***. Universidad de Los Andes. Venezuela.

- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. (NASA). 1970. ***Elevated temperature instability of Stellite 6B.*** [En línea], [Consultado: 16 de Mayo de 2012] Disponible en: http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19700016385_1970016385.pdf
- NININ, L. (1986). ***Manual de aserrado y afilado.*** Universidad de Los Andes. Venezuela.
- NININ, P. & ROSSO, F. (2006). ***Efecto de reaserrado con la conicidad y curvatura sobre el rendimiento de material prima, calidad de piezas aserradas y la trabajabilidad del Pino Caribe (Pinus caribaea, var. hondurensis) de la Orinoquia Venezolana.*** (Trabajo de Maestría) Universidad de Los Andes, Venezuela.
- PRADO, R. & FACCHINI, D. (2009). *Electrodeposition of nanocrystalline cobalt alloy coatings as a hard chrome alternative.* Navar, Public Release 09-776. Canadá.
- RIOS, M. (2005). ***Manual de buenas prácticas de manufactura para la Industria de Aserrío.*** [En línea]. Programa de Desarrollo de Políticas de Comercio Exterior. Perú. [Consultado: 10 de febrero de 2011] Disponible en: http://www.mincetur.gob.pe/comercio/Otros/Penx/estudios/Dimensionamiento_Clasificacion_Visual/Inf_Final_MBP.pdf
- SARACHE, L. (2000). ***Procesos de conformado con arranque de viruta.*** Publicaciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes, Venezuela.
- SALES, C. (1990). ***La scie à ruban. Théorie et pratique du sciage des bois en grumes.*** Center Technique Forestier Tropical, France.
- STURE, H., STAFFAN, J. & MATS, L. (2000). ***Design and evaluation of tribological coatings.*** The Angstrom Laboratory, Tribomaterials Group. Uppsala University. Sweden.
- TREJO, J., NININ, P., ROSSO, F., & NININ, F. (2007). Disminución del desgaste de herramientas cortantes y ahorro energético como efecto de la calidad del filo de Sierras de Cintas. ***Revista***

Forestal Latinoamericana, 22 (41): 37-56.

TREJO, J., NININ, P., & ROSSO, F. (2011). Variación de la calidad de los productos en el aserrado de maderas como efecto de la calidad del filo de sierras de cintas. **Revista Universidad, Ciencia y Tecnología**, 15 (61): 232-241.

TREJO, J., TOLOSA, R., & NININ, P. (2013). **Estudio de las propiedades mecánicas asociadas a capas delgadas de la aleación Cobalto-Cromo (Estelita) y Cromo Duro Electrolítico empleados como recubrimientos metálicos de refuerzo sobre sierras de cintas en el aserrado de la madera.** (Anteproyecto de Maestría). Universidad de Los Andes, Venezuela.

TECNOCROM INDUSTRIAL, S.A. (2011). **Cromo Duro. Níquel Químico. Especificaciones técnicas.** [En línea]. [Consultado: 26 de septiembre del 2011]. Disponible en: http://www.tecnocrom.es/pdf/Especif_TECNOCROM.p.

CONTENIDO

50 VOLUMEN 26 - NÚMERO 2
JULIO - DICIEMBRE 2011

REVISTA FORESTAL LATINOAMERICANA

Editorial 5

Artículos

Francisco Rivas V.

Un enfoque metodológico para la planificación y manejo de cuencas.
Caso de estudio, Cuenca río Yacambú

*A methodological approach for the watershed planning and
management. Case of study, basin of the Yacambu river.* 9

**Judith Petit, Gabriel Uribe, Fernando Casanova, Francisco Solorio y Luis
Ramírez**

Composición química y rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*,
Guazuma ulmifolia y *Moringa oleifera* asociadas y en monocultivo en
Yucatán, México

*Chemical composition and fodder yield of Leucaena leucocephala,
Guazuma ulmifolia and Moringa oleifera intercropping and
monoculture in Yucatan, Mexico.....* 35

**José Mendoza, Marvict Ruíz, Ana Villamizar, Edgar Jaimes, Neida Pineda,
Yolimar Garcés e Hilda Rodríguez**

Caracterización pedogeomorfológica como herramienta de planificación
agroturística en unidades de producción agrícola, subcuenca Alto
Motatán, estado Mérida, Venezuela

*Pedogeomorphological characterization as tool in the agroturistical
planification of farms, Alto Motatan subbasin, Mérida state,
Venezuela.....* 67

Edwin Buitrago, Anairamiz Aranguren y Jesús Marquina

Determinación de cambios en la cobertura vegetal del cerro El Morro, parroquia Mucurubá, Mérida-Venezuela

Determination of changes in vegetation cover of Cerro El Morro, parish Mucurubá, Merida - Venezuela.....

85

Hernán Maldonado, Alexander Parra y Angnes Aldana

La Deforestación en la Reserva Forestal Caparo-Venezuela Períodos 1987-1994, 1994-2007 y 1987-2007. (Aplicación de la Teledetección y los SIG)

Deforestation in Caparo Forest Reserve - Venezuela. Time periods 1987-1994, 1994-2007, and 1987-2007. (Remote sensing and GIS were applied).....

107

Cristopher Camargo, Raúl Vidal y Jesús Andrades

Medidas y experiencias desarrolladas para la conservación y recuperación de la micro-cuenca "La Machirí" Estado Táchira

Measures and experiences developed for the conservation and recovery of the micro-watershed "The Machirí" Táchira State.....

133

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

INSTRUCCIONES
A LOS AUTORES

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

Información General: la Revista Forestal Latinoamericana es una publicación semestral de carácter científico y especializada en el ámbito del manejo forestal, ordenamiento territorial, manejo de cuencas, ecología, restauración de ecosistemas, ambiente y tecnología de la madera. Son considerados para publicación trabajos originales, que no estén sometidos o editados en otras publicaciones periódicas de alcance similar, que pueden ser del tipo: a) **Artículos:** aquellos en que se reporta una investigación original, parcial o total. b) **Nota:** es un avance de una investigación. c) **Ensayo:** corresponde a un desarrollo de ideas de interés para la Revista. d) **Revisión:** corresponde al análisis crítico de la literatura recientemente publicada, sobre un tema en particular.

- 1. Los manuscritos:** deben ser enviados al Comité Editorial de la Revista Forestal Latinoamericana, Instituto Forestal Latinoamericano, Vía Chorros de Milla, Núcleo Forestal, Edificio IFLA. Apartado 36. Mérida, Venezuela. El envío del manuscrito deberá ser en triplicado y, adicionalmente, en versión digital en Word vigente. Para autores en el extranjero, el manuscrito puede ser enviado vía correo electrónico a las siguientes direcciones: aandrade@ifla-ve.org, ifla@ula.ve, ifla@ifla-ve.org, con carta dirigida al Comité Editorial. Dicho manuscrito y su respectiva carta estarán adjuntos en documentos Word.
- 2. Arbitraje:** los manuscritos serán revisados por dos árbitros y su aceptación estará basada en la calidad científica. No se evaluarán manuscritos incompletos o que no cumplan con las Normas Editoriales de la Revista.
- 4. Normas Editoriales:** se aceptarán manuscritos en español o portugués, cada manuscrito en español deberá tener un título en español e inglés, autor(es) con nombres y apellidos completos, institución de origen, dirección(es) postal(es), teléfono(s), correo electrónico(s) y resumen en español e inglés (los artículos que se presenten en portugués deberán tener título y resumen en portugués, español e inglés), palabras clave (máximo 7, en español e inglés y/o portugués, según el caso). El resumen

deberá estar escrito en un solo párrafo, con un máximo de **200 palabras** y especificar lo que se hizo, lo que se encontró y lo que se concluyó. En el caso de artículos, éstos estarán conformados por: introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, agradecimientos (opcional) y referencias bibliográficas. El texto de los artículos no deberá exceder las **15 páginas**; notas, las 3 páginas; y ensayos y revisiones, 20 páginas (en esta cuenta no se incluyen tablas, figuras, leyenda de figuras, referencias bibliográficas, ni agradecimientos, una vez incluidos estos elementos el artículo no deberá exceder de **25 páginas**).

5. **Las tablas y figuras:** En todos los manuscritos, el autor deberá indicar en el texto la ubicación de las figuras y/o tablas, las mismas deben ser incluidas en los respectivos espacios de la redacción del artículo. Las leyendas de figuras y tablas deberán ser escritas a espacio simple. Cada tabla y figura deberá ser numerada, diseñada en Word o en hoja de cálculo Excel, dependiendo de su complejidad (**no se aceptarán tablas en ningún formato de imagen**). Deberán incluirse las abreviaturas, acrónimos, símbolos y términos utilizados con sus respectivos significados. Los nombres científicos se escribirán de acuerdo al código internacional de nomenclatura.
6. **Estilos y formatos:** cada hoja de tamaño carta deberá estar numerada, impresa por una sola cara, márgenes: **superior, inferior, izquierdo y derecho en 2,5; el interlineado en 1,5 y con fuente Times New Roman N° 11**. Los títulos se destacarán en negrita. La hoja del título debe incluir el título del artículo, un título abreviado para utilizarlo como encabezado de página.
7. **Las referencias bibliográficas** deben ser ordenadas alfabéticamente. El estilo de la citación se hará como sigue:

a. Artículos de publicaciones periódicas:
GAITÁN, J. y PENÓN, E. 2003. Efecto de la resistencia mecánica del suelo sobre la densidad de raíces finas de *Eucalyptus globulus*. **Sistemas y Recursos Forestales**, 12 (2):125-130.

b. Libros:
AÑAZCO R., M. 1996. **El aliso (*Alnus acuminata*)**. INEFAN-FAO, Quito. 166 p.

c. Capítulos o artículos en un libro:

GOLDSTEIN, G., RADA, F., CANALES, M. y AZÓCAR, A. 1990. Relaciones hídricas e intercambio de gases en especies de sabanas Americanas. En Sarmiento, G. (ed.). **Las sabanas americanas. Aspectos de su biogeografía, ecología y su utilización**. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas, pp. 219-241.

d. Documentos electrónicos:

FALETTO, E. s.f. **Notas sobre estilos alternativos de desarrollo. Política y movimientos sociales**. Recuperado el 9 de marzo del 2003 en <http://atzimba.crefal.edu.mx/bibdigital/retablos/RP15/primer.pdf>

e. En el Texto:

"... la determinación del agua disponible (Dodd y Lauenroth, 1997; Singh et al., 1998), inclusive Sala et al. (1997) afirman...". Para estas citas dentro del texto, se recomienda el uso del **manual de publicación** de la American Psychological Association (APA).