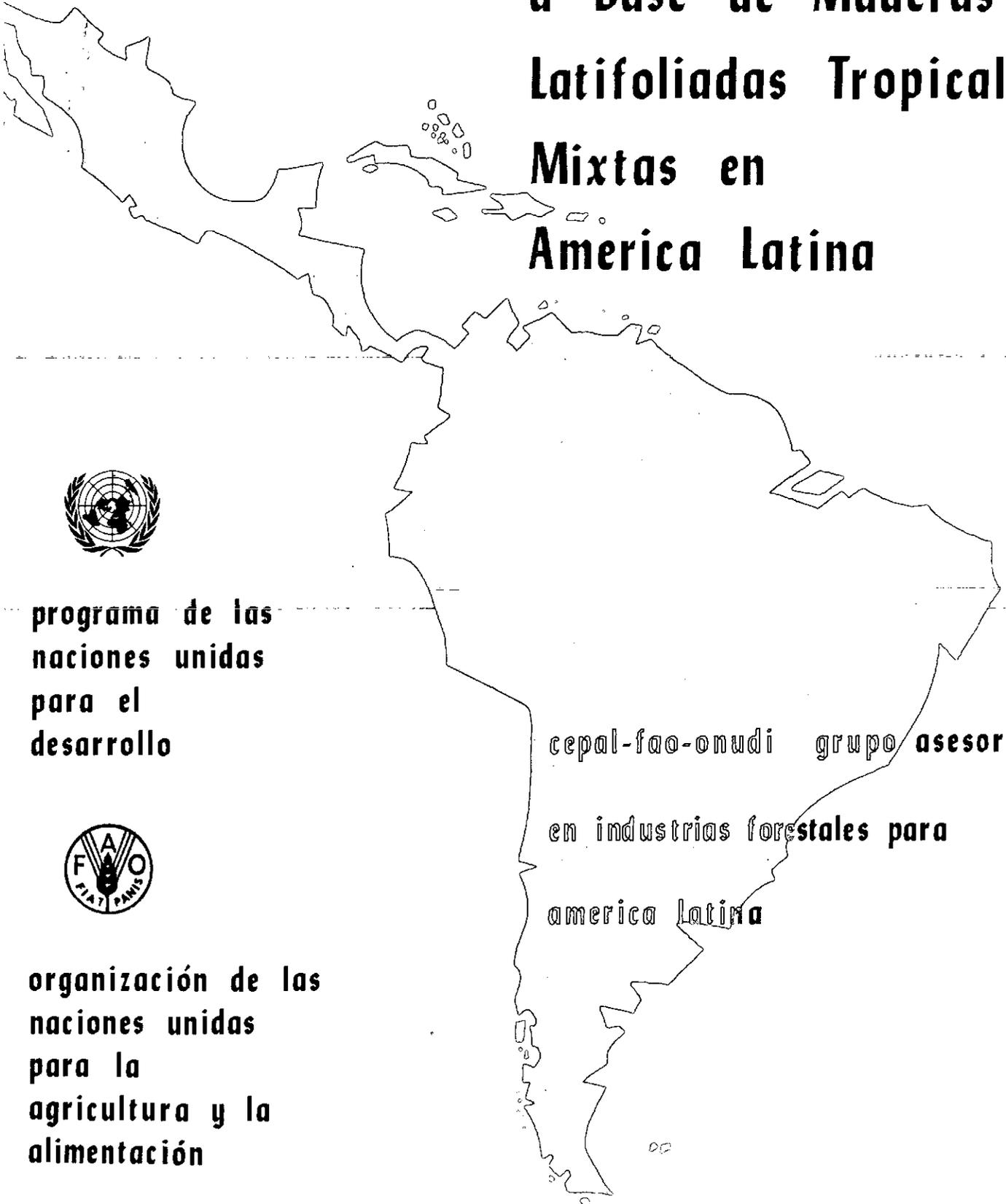


INT-1699

CEPAL (1699)

Perspectivas de la Producción de Pulpa a Base de Maderas Latifoliadas Tropicales Mixtas en America Latina

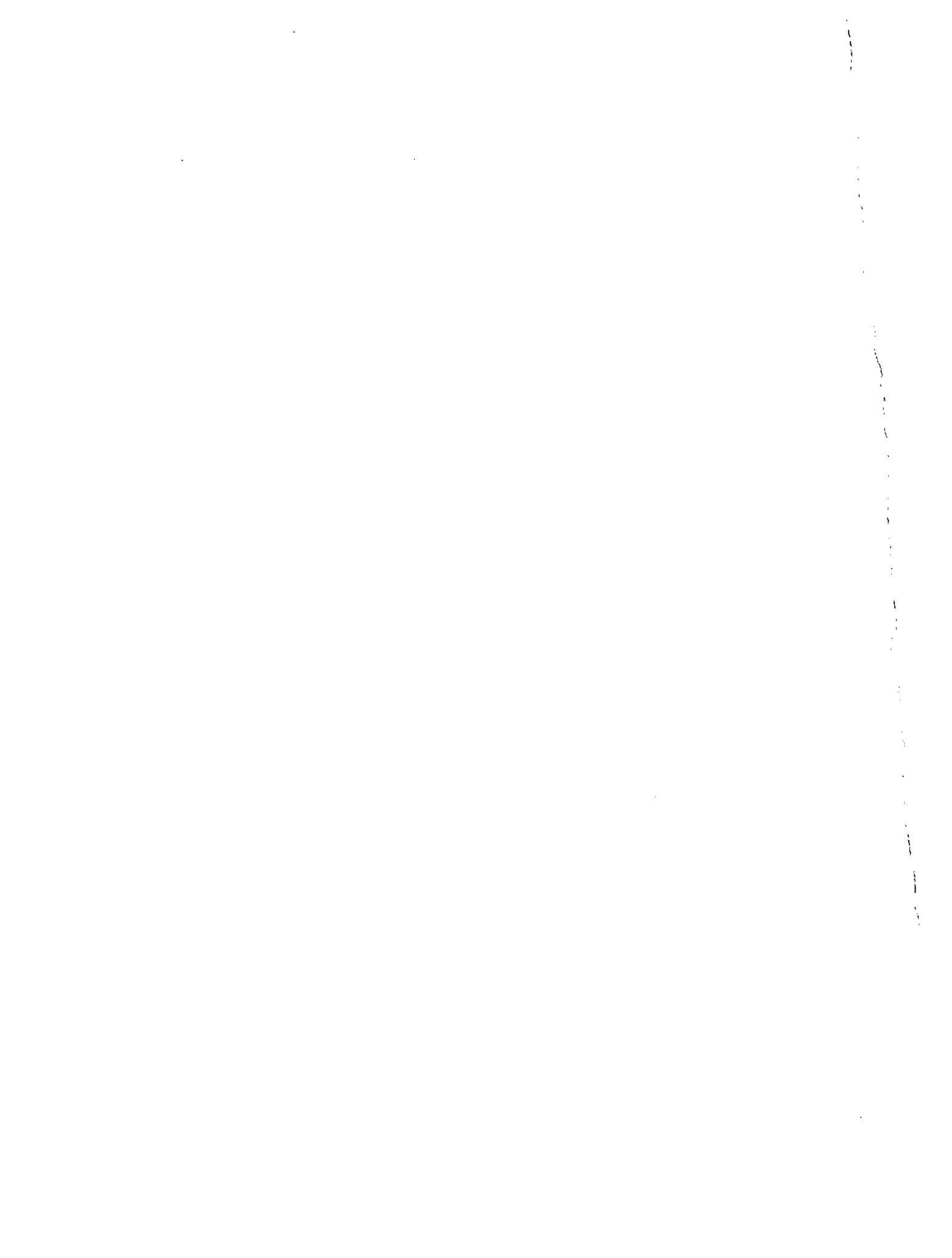


programa de las
naciones unidas
para el
desarrollo



organización de las
naciones unidas
para la
agricultura y la
alimentación

cepal-fao-onudi grupo asesor
en industrias forestales para
america latina



CEPAL/FAO/ONUDI/RLA/68/435
75/2 - S
Original: Inglés

Informe

sobre

PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCION DE PULPA A BASE DE
MADERAS LATIFOLIADAS TROPICALES MIXTAS EN AMERICA LATINA

Basado en la labor

de

Borje Kyrklund, Consultor

CEPAL/FAO/ONUDI Grupo Asesor en Industrias Forestales para
América Latina

Casilla 10095, Santiago, Chile

Santiago, mayo 1976

(Perspectivas de la Producción de Pulpa a Base de Mezclas de Maderas Latifoliadas 1/ Tropicales en América Latina)

PROLOGO

Este informe, preparado por Borje Kyrklund, consultor en pulpa y papel, durante una misión de tres meses 2/ realizada en 1974, revisa y determina las perspectivas para ampliar la producción de pulpa a base de maderas de latifoliadas tropicales mixtas en América Latina. También sugiere un programa de mayores investigaciones destinadas a superar algunas de las dificultades específicas que probablemente surgirán, especialmente en la explotación de madera proveniente de los bosques de latifoliadas tropicales mixtas.

Originalmente, este informe pretendía fijar una posición para presentarla a consideración de una consulta internacional sobre bosques tropicales húmedos, 3/ pero ahora se ha resuelto su publicación y una mayor distribución.

Se expresan sinceros agradecimientos a la dirección y a integrantes del personal de Cartón de Colombia, en Cali, Colombia, por la valiosa colaboración y ayuda prestadas durante la labor de campo realizada, así como en la conclusión del manuscrito.

-
- 1/ En la versión española de este informe se utilizan indistintamente los términos "latifoliadas" o "duras" como traducción de la expresión "hardwoods".
- 2/ Desde agosto 1974 hasta noviembre 1974 para el Grupo Asesor CEPAL/FAO/ONUDI en Desarrollo de las Industrias Forestales de América Latina (proyecto RLA/68/435).
- 3/ Esta reunión, que debió celebrarse en Brasil desde el 29 de septiembre hasta el 10 de octubre de 1975, fue aplazada debido a que al Gobierno Brasileño no le fue factible actuar como anfitrión en esas fechas.

EXTRACTO

El presente informe consiste en tres partes. En primer término, un estudio de las posibilidades para la utilización de bosques mixtos de maderas duras tropicales como fuente de madera para pulpa en América Latina, así como una presentación de las calidades de pulpa y papel que se pueden producir. En segundo término, se discuten los problemas técnicos y de administración forestal involucrados. La tercera parte contiene las conclusiones a que se ha llegado, principalmente, que el problema consiste básicamente en el establecimiento de un sistema adecuado de manejo técnico para las concesiones forestales y la adaptación de los contratos de concesión a las necesidades tanto de los bosques tropicales como de la elaboración de la pulpa. Se hacen algunas recomendaciones con respecto a investigaciones adicionales y adelantos que se requieren con el fin de llegar a una utilización óptima y controlada de los bosques mixtos de maderas duras tropicales para la producción de pulpa.

CONTENIDO

	<u>Pág.</u>
<u>Parte I. Perspectivas y Posibilidades</u>	1
1. Introducción	1
2. Desarrollo de la producción de la pulpa y del papel en América Latina	3
2.1 Capacidad actual para la producción de pulpa y papel en América Latina	3
2.2 Demanda futura de pulpa y papel en América Latina	6
2.3 Posibilidades para futuras exportaciones de pulpa desde América Latina	10
3. Planes actuales para la fabricación de pulpa con maderas latifoliadas tropicales mixtas en América Latina	12
4. Tipos de pulpa que pueden ser producidas con maderas duras tropicales mixtas	14
4.1 General	14
4.2 Procesos para la producción de pulpa semiquímica	14
4.3 Procesos químicos para la producción de pulpa	15
4.4 Clases de pulpa exportable	16
5. Posibilidades para utilizar la pulpa de maderas duras tropicales mixtas para la fabricación de diferentes clases de papel	16
5.1 General	16
5.2 Papel para periódicos	17
5.3 Revestimiento de cartón para envases	18
5.4 Corrugado medio (cartón acanalado)	20
5.5 Papel para sacos	21
5.6 Papel para envolver	22
5.7 Papeles para escribir e imprenta	22
5.8 Papel y cartón de calidades exportables	23

	<u>Pág.</u>
<u>Parte II. Problemas Técnicos</u>	24
1. Introducción	24
2. Modalidad de explotación de un bosque de maderas duras tropicales mixtas	25
3. Extracción de la madera de bosques de maderas duras tropicales para la producción de pulpa	27
4. Problemas en la planta para pulpa	28
5. Variabilidad en la calidad de la pulpa	30
5.1 General	30
5.2 Zonas de amortiguación	31
5.3 Control de las variaciones de la calidad de la pulpa mediante el control del flujo de materia prima	33
<u>Parte III. Conclusiones</u>	38
1. Introducción	38
2. Conclusiones	38
3. Recomendaciones	41
4. Características específicas en la planificación de plantas para pulpa basadas en maderas duras tropicales mixtas	41
Apéndice 1 Utilización de maderas duras tropicales mixtas para la producción de pulpa de papel en Cartón de Colombia	43
Apéndice 2 Evaluación estadística de las posibilidades de controlar la uniformidad de la calidad de la pulpa mediante combinaciones de unidades de maderero de características conocidas	54
Apéndice 3 Programas de investigaciones para proporcionar la información necesaria para minimizar las variaciones en la calidad de la pulpa mediante la combinación apropiada de la madera para pulpa de diferentes sectores de maderero	87

Parte I. Perspectivas y Posibilidades

1. Introducción

La creciente escasez de pulpa y papel en el mundo ha dado origen a un mayor interés en la fuente potencial de materia prima para pulpa que puede encontrarse en los bosques tropicales. Aparte de este interés global, existe también interés por parte de los países tropicales en lograr la autosuficiencia con respecto a materias primas fibrosas para el papel, con el fin de disminuir sus importaciones a un mínimo.

No cabe duda de que no hay problema alguno para elaborar pulpa con algunas de las especies de madera de los bosques tropicales en forma individual; en efecto, se pueden obtener excelentes resultados con algunas de ellas. Sin embargo, el problema principal consiste en la abundancia de especies en el bosque tropical y la variación en la composición de bosques aún en áreas bastante pequeñas. Para establecer una operación económicamente factible, la fábrica de pulpa deberá utilizar cualquier especie que no sea directamente perjudicial a la calidad de la pulpa o que no cause alteraciones en el proceso de elaboración. Además, todas las especies que se obtienen en una zona de madereo deben ser convertidas conjuntamente en pulpa.

No hay nada novedoso en el hecho de elaborar pulpa con una mezcla de varias especies; en efecto, esto se ha venido haciendo, por ejemplo, en Canadá, Japón y los Estados Unidos desde hace varios años. En muchos casos ha dado como resultado una pulpa de características aún superiores a las que se obtienen de especies individuales.

Sin embargo, estas mezclas han incluido sólo un máximo de hasta seis especies, aproximadamente tratándose además de una mezcla de especies de madera fácilmente controlable para asegurar la homogeneidad de la calidad de la pulpa. En el caso de las mezclas de maderas duras tropicales, el número de especies es de cien a doscientos, y no permite proceder de esa manera, y además, la composición de la madera para pulpa proveniente de distintas áreas de madereo puede variar en forma considerable.

Los problemas generales enunciados anteriormente han causado la renuncia de los inversionistas en el pasado a considerar los bosques de maderas duras tropicales como fuente de materia prima para pulpa. Por el contrario, la tendencia ha favorecido la realización de programas extensivos de reforestación con la implantación de especies de madera para pulpa bien conocidas, tales como los pinos o el eucalipto después de haberse procedido a la tala total de los bosques vírgenes. En estos casos se ha estimado que la madera obtenida del bosque original no tenía ningún valor en particular, fuera de unas pocas especies utilizadas para la producción de maderas y chapas. El resto, que representa hasta el 80% del volumen total, se ha utilizado sólo como combustible o no se ha utilizado en absoluto.

Sin embargo, los problemas no son tan graves como parecería surgir de las consideraciones más pesimistas. Aunque existe una variación extremadamente amplia en la composición botánica dentro de un área forestal dada, las variaciones de las características para la producción de pulpa y papel son mucho menores y esto es lo realmente importante para una planta de pulpa y papel. En vez de mirar con pesimismo el gran número de especies y sus características particulares para la producción de pulpa y papel, el evaluador de la factibilidad de un proyecto de pulpa y papel para una cierta zona forestal deberá determinar la calidad de la pulpa que es posible producir con la mezcla natural de las especies de los distintos sectores del bosque, después de excluir algunas especies que son comprobadamente inaptas para el proceso o aquéllas que son de gran valor para la producción de maderas o chapas. Desde luego, sigue produciéndose una gran variación en la calidad de la pulpa debido a la heterogeneidad de los tipos de vegetación del bosque, pero estos problemas pueden ser resueltos mediante operaciones apropiadas de madereo y mezclas de madera para pulpa de distintos sectores del bosque. Ello impone grandes exigencias sobre el manejo de las operaciones de madereo y se deberá prestar especial atención a que el contrato de concesión sea lo suficientemente flexible y proporcione la posibilidad de planificar la explotación del bosque a largo plazo.

Un aspecto muy importante es que el término "bosque mixto de maderas tropicales duras" es el nombre colectivo que se da a una cantidad de bosques de diferentes tipos y se usa principalmente en el sentido de que el bosque es diferente al bosque convencional de madera o de madera para pulpa. Sin embargo, como tal, el término no define satisfactoriamente la aptitud de la madera que se puede obtener del bosque para la producción de pulpa y papel. La composición de un bosque de esta naturaleza varía sustancialmente de un continente a otro, y dichas variaciones son igualmente importantes dentro de un mismo continente, dentro de un mismo país o aún dentro de una región de un país. Los siguientes aspectos afectan la factibilidad de un proyecto para pulpa y papel basado en un bosque de maderas duras tropicales mixtas, así como al tamaño de la planta.

- El mercado para el producto que se espera producir.
- La homogeneidad o heterogeneidad del suministro de madera para pulpa desde los distintos sectores dentro del área en relación a la calidad de la pulpa que se pueda obtener de dicha madera.
- La accesibilidad de los diferentes sectores, tanto a corto como a largo plazo, tomando en cuenta las posibilidades de construcción de caminos y la capacidad de resistencia del subsuelo al peso de la carga.
- El volumen de madera que pueda extraerse.

En lo que a la reforestación respecta, la creencia generalizada es que debe consistir en la plantación de especies exóticas, tales como el eucalipto. Sin embargo, aunque esto es factible en algunas áreas forestales, hay otras donde solamente tendrá éxito la plantación de especies nativas y aún algunas donde la única solución posible es la regeneración natural.

El presente informe ha sido dividido en tres partes. En primer término se analizan las posibilidades y las razones para utilizar especies de maderas duras tropicales mixtas para la producción de pulpa así como los diferentes tipos de productos que con ella pueden elaborarse; en segundo término se analizan los problemas técnicos y administrativos involucrados y en tercer lugar, se presentan las conclusiones.

2. Desarrollo de la producción de la pulpa y del papel en América Latina

2.1 Capacidad actual para la producción de pulpa y papel en América Latina

La capacidad de las plantas de pulpa en América Latina en 1973 se indica en el Cuadro No 1. De ello se desprende que de los 19 países latinoamericanos incluidos en la lista, sólo siete producen pulpa de madera. Entre ellos, solamente Brasil y Chile son exportadores netos de pulpa y producen el 50% del total de la pulpa producida en la región incluyendo la pulpa de bagazo y de otras materias primas no madereras.

En Chile toda la pulpa se produce con pinos de plantaciones, en tanto que las fábricas de Brasil y México utilizan principalmente bosques naturales de coníferas como fuente de madera para pulpa, aunque ya se están utilizando algunas plantaciones, incluyendo especies de eucaliptos estimándose que su utilización se ampliará en el futuro para la producción de pulpa de fibra corta. En cuanto a Argentina, la materia prima se obtiene principalmente de plantaciones de Pinus elliottii y araucaria o de especies de Salicáceas que han sido plantadas a lo largo del río Paraná.

En general se puede decir que la producción de pulpa de fibra corta en América Latina está basada en plantaciones de especies de eucaliptos. Las únicas excepciones son la utilización de especies de Salicáceas en la Argentina, una pequeña planta (15,000 tpa) en Perú que utiliza bosques naturales *decroptia* spp. (Cético) en la región de Pucallpa y una planta en Colombia que está integrada con una fábrica de papel y cartón que utiliza una mezcla de especies latifoliadas tropicales (aproximadamente 130 especies) como materia prima para pulpa al sulfato y semiquímica. El Apéndice I contiene una descripción breve de esta planta.

Cuadro I. Capacidad para la producción de pulpa en América Latina, 1973
en miles de toneladas secadas al aire (90%)

País	Pulpa de madera para papel				Otras Materias Primas	Pulpa Soluble	Total
	Mecánica	Semi Química	Química	Total			
Argentina	55	113	178	346	54	10 */	410
Bolivia	-	-	-	-	1	-	1
Brasil	114	120	1010	1244	136	142	1522
Chile	149	-	340	489	-	-	489
Colombia	-	26	72	98	105	-	203
Costa Rica	-	-	-	-	-	-	-
Cuba	-	-	-	-	57	-	57
Ecuador	-	-	-	-	13	-	13
El Salvador	-	-	-	-	-	-	-
Guatemala	-	-	8	8	2	-	10
Jamaica	-	-	-	-	-	-	-
México	70	-	347	417	190	17 */	624
Nicaragua	-	-	-	-	-	-	-
Paraguay	-	-	-	-	-	-	-
Perú	-	-	15	15	123	-	138
Puerto Rico	-	-	-	-	32	-	32
Rep. Dominicana	-	-	-	-	-	-	-
Uruguay	3	5	10	18	6	-	24
Venezuela	-	-	-	-	58	-	58
TOTAL	391	264	1980	2635	777	169	3581

*/ Borra de algodón

fuente: FAO World Pulp and Paper Capacity Survey 1974.

Cuadro II. Capacidad para la producción de papel en América Latina, 1973

en miles de toneladas

País	Papel para Periódicos	Para Escribir e imprenta	Otros papeles y cartones	Total
Argentina	-	170	680	850
Bolivia	-	-	-	-
Brasil	127	505	1309	1941
Chile	110	60	126	296
Colombia	-	64	242	306
Costa Rica	-	-	7	7
Cuba	-	42	94	136
Ecuador	-	5	29	34
El Salvador	-	-	16	16
Guatemala	-	15	26	41
Jamaica	-	-	17	17
Mexico	50	230	930	1210
Panamá	-	-	28	28
Paraguay	-	-	1	1
Perú	-	37	188	225
Puerto Rico	-	-	63	63
Rep. Dominicana	-	5	34	39
Uruguay	-	19	37	56
Venezuela	-	40	341	381
Total	287	1192	4168	5647

Fuente: FAO World Pulp and Paper Capacity Survey, 1974.

En el Cuadro N° 2 se indica la capacidad de producción de papel en América Latina para 1973. Se puede observar la misma distribución dispereja entre los países latinoamericanos para la capacidad de producción de papel como para la de pulpa. Chile es el único exportador neto de papel en la región. También existe un comercio intrarregional considerable en pulpa y papel, pero como lo indica la relación entre los totales de los cuadros I y II la región también importa cantidades sustanciales de pulpa.

Tampoco la región es autosuficiente en cuanto al papel, al menos no en lo que respecta a ciertas calidades y esta diferencia debe ser cubierta por importaciones desde otras regiones, y principalmente desde Norteamérica y el norte de Europa. Las importaciones de pulpa de la región comprenden mayormente pulpa de fibra larga, y en cuanto a las importaciones de papel, éstas consisten principalmente de papel para periódicos, revestimiento kraft para cartón corrugado (kraftliner).

2.2 Demanda futura de pulpa y papel en América Latina

El Cuadro N° III contiene un pronóstico de la FAO sobre la diferencia entre la producción y el consumo de los diferentes tipos de papel en América Latina hasta 1985. De acuerdo con esto la región alcanzará una relativa autosuficiencia en cuanto a papel para escribir y de imprenta, en tanto que se observa un déficit creciente en el papel para periódicos y otros papeles y cartones. De las capacidades para la producción de pulpa indicadas en el Cuadro N° I, así como de la actual situación de las importaciones, es posible concluir que el tipo de mayor importancia en el último grupo es el kraftliner y tal vez el papel kraft para sacos. Existen razones para subrayar que este pronóstico se ha basado en la suposición de que el suministro de madera para pulpa no constituirá un factor limitante.

El Cuadro N° IV incluye un pronóstico para la producción de pulpa por tipos, y el Cuadro N° V contiene una estimación del desarrollo del comercio mundial, por regiones, para la pulpa y el papel. El Cuadro N° VI contiene un balance estimado de las necesidades mundiales de madera para pulpa en 1985.

Cuadro III. Déficit estimado en el consumo de papel en América Latina 1975 - 1985

en millones de toneladas

Calidad	1975	1980	1985
Papel para Periódicos	0.80	0.85	0.75
Papel para escribir e imprenta	0.45	0.40	0.36
Otros papeles y cartones	0.50	1.42	1.22

Fuente: FAO: Perspectivas para el consumo de pulpa y papel, su producción y comercio hasta 1985, Documento FO/PAP/DST/71/1.1/Rev. marzo 1972

Cuadro IV. Producción estimada de pulpa en América Latina 1975 - 1985

en millones de toneladas

Calidad	1969	1975	1980	1985
Pulpa mecánica de madera	0.43	0.68	0.90	1.20
Pulpa química de madera	1.12	1.47	2.60	4.02
Pulpa de materias primas no madereras	0.54	0.60	0.75	0.85
TOTAL	2.09	2.75	4.05	6.07

Fuente: La misma que tiene el Cuadro III.

Cuadro V Saldo por regiones del mundo del intercambio comercial de celulosa y papel, 1975 - 1985

(millones de toneladas)

REGION	1975					1980					1985				
	PAPEL					PAPEL					PAPEL				
	Pulpa para Papel	Papel para Periódicos	Papel de imprenta y de escribir	Otros Papeles y Cartones	Total	Pulpa para Papel	Papel para Periódicos	Papel de imprenta y de escribir	Otros Papeles y Cartones	Total	Pulpa para Papel	Papel para Periódicos	Papel de imprenta y de escribir	Otros Papeles y Cartones	Total
Europa Occidental	-2.34	+0.27	+0.26	-0.65	-0.12	-4.18	-0.30	-0.45	-1.10	-1.85	-7.85	-0.65	-0.25	-1.45	-2.35
Norteamérica	+5.33	+1.19	-0.55	+3.17	+4.52	+7.76	+2.95	-0.90	+2.80	+4.85	+1.73	+3.15	-1.00	+3.65	+5.80
Japón	-0.62	-0.20	+0.15	-0.33	-0.38	-0.86	-0.05	+0.73	+1.02	+1.70	-0.89	-0.30	+1.13	+1.07	+1.90
Unión Soviética	-0.05	-0.17	-0.12	-0.56	-0.85	-0.05	-0.18	-0.23	-0.29	-0.70	-0.05	-0.20	-0.27	-0.43	-0.90
	+0.45	+0.32	0	+0.30	+0.62	+0.63	-0.50	+0.10	+0.80	+1.40	+1.40	+0.95	+0.20	+0.22	+1.37
Europa Oriental	-0.62	+0.05	-0.07	-0.32	-0.34	-0.98	0	-0.10	-0.65	-0.75	-1.56	+0.07	-0.10	-1.12	-1.15
China	-0.21	-0.05	-0.10	-0.05	-0.20	-0.45	-0.05	-0.05	+0.10	0	-0.71	0	+0.05	+0.10	+0.15
Africa	-0.09	-0.10	-0.04	-0.06	-0.20	-0.09	-0.11	-0.08	-0.16	-0.35	-0.20	-0.11	-0.07	-0.22	-0.40
Asia y el Lejano Oriente	-0.62	-0.05	-0.25	-0.30	-0.60	-1.02	-0.05	-0.45	-0.12	-0.60	-1.21	0	-0.40	-0.32	-0.72
América Latina	-0.69	-0.80	-0.45	-0.50	-1.75	-0.35	-0.85	-0.40	-1.42	-2.67	-0.26	-0.75	-0.36	-1.22	-2.33
Medio Oriente	-0.09	-0.12	-0.12	-0.46	-0.70	-0.18	-0.22	-0.25	-0.56	-1.03	-0.37	-0.35	-0.38	-0.64	-1.37
TOTAL MUNDIAL	+0.45	+1.05	-1.29	+0.24	0	+0.23	+1.64	-2.06	+0.42	0	+0.03	+1.81	-1.45	-0.36	0

Fuente: Igual a la del Cuadro III.

Cuadro VI

Estimación del Balance de las Necesidades Mundiales de Madera
para Pulpa en 1985

(en millones de m³)

Región/País	D E M A N D A			O F E R T A			Saldo
	Para producción de pulpa	Para tableros de fibra y de madera aglomerada	Total	Extracciones	Estimación de residuos	Total	
Norteamérica	363	27	385	290	100	390	+ 5
Europa	209	45	254	180	45	225	- 29
Unión Soviética (URSS)	76	9	85	85	25	110	+ 25
Japón	81	6	87	35	25	60	- 27
Oceanía y Sudáfrica	18	3	21	19	8	27	+ 6
Resto de Asia	29	5	34	30	10	40	+ 6
Resto de Africa	2	2	4	3	5	8	+ 4
América Latina	23	4	27	25	12	37	+ 10
Total Mundial	801	96	897	667	230	897	-

Fuente: FAO Wood Fibre resources and pulpwood requirements, 1974

2.3 Posibilidades para futuras exportaciones de pulpa desde América Latina

Las proyecciones indicadas en estos cuadros parecen algo contradictorias al principio. Por una parte América Latina llegaría a ser un exportador neto de madera para pulpa y por la otra, un importador neto de pulpa y papel. Sin embargo, como se señala en la fuente indicada en el Cuadro N° VI esto se debe a las suposiciones fundamentales hechas en este pronóstico en cuanto a la persistencia de las tendencias históricas con respecto a la autosuficiencia y a la estructura en el uso de la materia prima por la industria de la pulpa y el papel. Ya se han producido cambios notables en este sentido. Aunque existe un comercio interregional sustancial de madera para pulpa en la actualidad, es dudoso que esta tendencia siga siendo constante para todas las regiones. Una determinación reciente en los países productores más importantes ha sido la de hacer inversiones en el establecimiento de plantas para pulpa en regiones donde hay un abastecimiento suficiente de madera para pulpa e importar la materia prima para su industria de papel en la forma de pulpa.

De acuerdo con ello bien puede suceder que en el futuro América Latina llegue a ser un exportador neto de pulpa y papel, al menos en cuanto a algunas calidades. Por otra parte no hay duda que continuará siendo un importador neto de otras calidades, especialmente en cuanto a pulpa de fibra larga y papel para diarios. Sin embargo, esto en todo caso mejoraría el saldo actual y proyectado del comercio total de la región en pulpa y papel.

La posibilidad de que América Latina se convierta en el futuro en un exportador neto de algunos tipos de celulosa está en la producción de pulpa de fibra corta, específicamente pulpa al sulfato blanqueada teniendo a Europa Occidental y Japón como los mercados más probables. Además de esto, se incrementará el comercio intra-regional debido a la distribución desigual de la oferta y la demanda dentro de la región. A causa del actual desarrollo de los precios en el mercado de la pulpa y papel podría aún producirse un mercado dentro de los países de la región, para calidades que sustituyan a tipos de papel actualmente en el mercado, tales como el papel para periódicos. Aunque estas calidades sustitutivas de papel, al menos por ahora, no serían competitivas en el mercado internacional en cuanto a calidad, y tal vez ni siquiera con respecto a su precio, aún podrían ser aceptables debido a las condiciones locales y a los acuerdos de comercio existentes entre los países dentro de la región.

Debido a la desigualdad en la distribución actual de la capacidad de producción de pulpa y papel en América Latina el comercio intrarregional es tan importante como el comercio entre América Latina y otras regiones del mundo. Si el logro de la mayor autosuficiencia posible constituye una meta para la región, ello es igualmente deseable para los países dentro de la región donde existen posibilidades para alcanzar al menos un mejoramiento de la situación actual. Por otra parte, como la operación económica de una planta de pulpa o de papel requiere que sea de un tamaño considerable, el consumo nacional como tal no será suficiente en relación con la producción de la planta. A menos que se encuentre un mercado internacional lo suficientemente grande para absorber el exceso de producción, ya sea fuera o dentro de la región, la producción del tipo de pulpa y/o de papel en cuestión deberá dejarse a los países donde la relación entre la producción óptima y el consumo nacional sea más favorable.

En aquellos países de la región que tienen bosques mixtos de maderas duras tropicales existe un gran potencial para la industria de pulpa y/o papel basada en esta materia prima, siempre que los bosques sean accesibles y que tengan buenas conexiones de transporte a los puertos durante todo el año. Probablemente tengan que instalarse terminales de exportación en algún puerto dentro o fuera del país en caso de ser muy grande la distancia entre la planta y un puerto de exportación apropiado. En cuanto a la exportación intercontinental de pulpa, es lo más probable que deberá basarse en el embarque de balas unitarizadas. En cuanto a la elección del sistema de unitización, existen varias alternativas, y la selección final deberá basarse en la aceptabilidad del sistema por parte de las autoridades portuarias en los países receptores de las exportaciones así como de los puertos en que estén ubicados los terminales.

En el pasado, salvo algunas excepciones en muy pequeña escala, la industria de la pulpa y del papel basada en el uso de madera como materia prima ha utilizado principalmente maderas provenientes de bosques naturales puros con sólo unas pocas especies o de plantaciones. Sin embargo, en vista de la creciente demanda de pulpa así como de madera para pulpa, que ha conducido a una escasez de ambas en algunas regiones, la utilización de maderas latifoliadas tropicales mixtas para la producción de pulpa de fibra corta proporciona una posibilidad inmediata para hacer frente a dichas demandas, ya sea dentro de un país, de una agrupación de países o en el mercado internacional, según sea el tipo del producto manufacturado. Por otra parte se requieren por lo menos 10 a 15 años para el establecimiento de plantaciones después de la realización de ensayos positivos antes de que sea posible suministrar materia prima para la fabricación de pulpa a una nueva planta.

Donde se dan condiciones favorables para la plantación de especies exóticas después de la tala total de un bosque de maderas duras tropicales mixtas, la utilización del bosque virgen para la fabricación de pulpa constituye solamente una medida temporal, seguida por la utilización de madera para pulpa proveniente de las nuevas plantaciones. En este caso la planta para pulpa proporciona apoyo económico en la etapa inicial al programa de plantación.

En zonas donde no es posible la implantación de especies exóticas existen dos alternativas para la utilización del bosque para la producción de pulpa y papel, dependiendo de la forma de explotación que se considere apta para dicho bosque o para la industria ubicada en el área. Primeramente, si la explotación se basa en la extracción selectiva de ciertas especies para la industria mecánica de la madera, los residuos de dicha industria pueden ser utilizados como materia prima para pulpa, agregando posiblemente la madera de los raleos, etc. de las mismas especies. En segundo lugar, si la utilización se basa en la extracción de casi todas las especies, la planta para pulpa se convierte en el componente más importante del complejo planta para pulpa/industria maderera, utilizando toda la madera que no puede aprovechar la industria mecánica de la madera. En ambos casos se logra un mejoramiento de la economía de la explotación. La reforestación se basa entonces en la plantación de especies locales o en la regeneración natural y en consecuencia la utilización de maderas latifoliadas tropicales mixtas como materia prima es continua, no limitándose solamente a la etapa inicial.

3. Planes actuales para la fabricación de pulpa con maderas latifoliadas tropicales mixtas en América Latina

Existen ya varios planes para la fabricación de pulpa con maderas duras tropicales mixtas en América Latina, en diferentes etapas de desarrollo. La lista que sigue no es completa y es posible que ya se hayan iniciado algunos estudios preliminares en adición a los mencionados.

Brasil. En este país existen planes para dos instalaciones, una para una planta integrada para producir 200.000 TPA de papel para escribir y para imprenta en Curuá Una y otra para la producción de 200.000 toneladas anuales de pulpa en Belém.

Colombia. Existe interés en un complejo de aserradero/fábrica de cartón, usando principalmente los residuos del aserradero como materia prima para la producción de pulpa por el procedimiento semi-químico al sulfato neutro en el valle del río Magdalena (San Lucas). La producción alcanzaría a 49.000 toneladas anuales de esa pulpa para obtener 42.000 toneladas anuales de corrugado medio y 30.000

toneladas anuales de cartón base para estucar utilizando unas 25.000 toneladas anuales adicionales de pulpa de fibra larga importada. También existe interés en una planta similar pero más pequeña en el área de Nariño.

Costa Rica. Está haciendo una evaluación de las posibilidades para una planta de pulpa en la zona de Puerto Limón y Ecuador ha realizado un estudio de factibilidad por lo menos para una planta de 50.000 toneladas anuales de corrugado medio y posiblemente también para 150.000 toneladas anuales de revestimiento kraft para cartón corrugado (kraftliner) en el Noroeste.

Guatemala. Ha mostrado también interés en la producción de pulpa de madera de latifoliadas tropicales, aunque hasta el momento no se ha desarrollado un proyecto específico.

Guyana. Contempla la instalación de una planta para la producción de 220.000 toneladas anuales de pulpa al sulfato blanqueada cerca de Georgetown, cuya puesta en marcha está proyectada para 1978-79, y en

Honduras, se prevé la instalación de una planta integrada en Olancho para la producción de corrugado medio basado en maderas duras tropicales en tanto que se utilizarán pinos para producir revestimiento kraft para cartón corrugado (kraftliner) y papel kraft para sacos.

México. Allí también existe interés por un proyecto en el área de Chiapas, y en Nicaragua en una planta de pulpa semiquímica para producir corrugado medio en el noroeste. Paraguay también tiene algún interés en establecer una industria de pulpa y papel en el Alto Paraná y Perú en la región de Iquitos.

En Surinam también se han preparado planes para una planta de pulpa para producir 250.000 toneladas anuales de pulpa al sulfato blanqueada en Jodensavanne además Venezuela tiene planes similares en la Guyana Venezolana.

Según surge de estos planes y proyectos es evidente que actualmente hay un interés considerable en América Latina en la utilización de maderas duras tropicales para la producción de pulpa.

4. Tipos de pulpa que pueden ser producidas con maderas duras tropicales mixtas

4.1 General

Aunque existen posibilidades para producir pulpas mecánicas de excelente calidad de ciertas especies latinoamericanas tales como la cecropia, la factibilidad económica para la utilización de especies individuales mediante cualquier proceso es muy dudosa, a menos que el bosque contenga una gran proporción de dicha especie y pueda justificarse económicamente la selección de especies para ciertos procesos. Sin embargo, debido a que:

- a) los bosques tropicales mixtos latinoamericanos en general contienen alrededor de 50 especies por hectárea con un total de 130 a 300 especies en el área forestal; y
- b) que la densidad media básica de la madera generalmente es de 0.7 g/cm³ y en consecuencia muy dura en general, en tanto que la fabricación de pulpa mecánica requiere madera bastante blanda como materia prima.

Se necesitará mucha investigación adicional antes de que la fabricación de pulpa mecánica de una o de unas pocas especies de maderas duras tropicales llegue a ser económicamente factible.

Es evidente que los procesos para la producción de pulpa utilizando maderas duras tropicales como materia prima deberán basarse en la utilización de mezclas naturales de madera del bosque, después de excluir unas pocas especies que no son aptas, en lugar de elegir unas pocas especies para la producción de la pulpa. Por tal motivo, todos los estudios de factibilidad para el establecimiento de una planta para la producción de pulpa y papel en un área dada, deben basarse principalmente en una evaluación de la materia prima existente en la zona, mediante inventarios forestales y ensayos para la producción de pulpa con mezclas naturales de especies, tal como se presentan en el bosque.

Los procesos que pueden aplicarse para la producción de pulpa son semiquímicos y químicos. Los procesos químico-mecánicos sólo pueden ser aplicados si existen las condiciones ideales para la utilización selectiva continua de una o unas pocas especies.

4.2 Procesos para la producción de pulpa semiquímica

Los procesos que pueden aplicarse en la producción de pulpa semiquímica en maderas duras tropicales mixtas son los siguientes:

- a) Semiquímico al sulfito neutro (NSSC)
- b) Soda fría
- c) Soda caliente
- d) Soda-azufre
- e) Semiquímica (de alto rendimiento) al sulfato

El proceso al sulfito neutro da como resultado una pulpa oscura con muy buenas características de rigidez y por tal motivo esta pulpa generalmente se utiliza para la producción del cartón corrugado medio (corrugated medium). Con un tratamiento químico intensivo y con un pH de aproximadamente 8,5 es posible blanquear la pulpa hasta obtener una blancura de aproximadamente 50 (ISO)1/ o más y se puede usar para la producción de papel para imprenta o para escribir de bajo precio o, sin blanquear, para ciertos tipos de papel para envolver. La pulpa semiquímica al sulfito neutro también puede utilizarse para elaborar un revestimiento para cartón corrugado (test liner board) cuando los requerimientos sean inferiores a los exigidos al kraftliner.

La pulpa a la soda fría o a la soda-azufre se usa generalmente para la fabricación del corrugado medio, aunque sus características son levemente inferiores a las de la pulpa al sulfito neutro. Sin embargo, la ventaja de estos dos procesos es que pueden aplicarse como procesos alternativos en una planta diseñada para el proceso al sulfato. La pulpa a la soda fría es de color relativamente claro y puede ser blanqueado hasta aproximadamente 60 (ISO) para ser utilizada en la producción de papeles baratos para escribir y para imprenta o aún de papel para periódicos, aunque (en este caso) también se requiere pulpa mecánica como elemento fundamental de la mezcla, hecho que excluye a la pulpa a la soda fría de este uso en América Latina, a menos que existan especies de plantación para la producción de pulpa mecánica.

El proceso a la soda caliente da por resultado una pulpa muy oscura que se usa principalmente para ciertas clases de papel para envolver, tal como el de la pulpa semi-química (de alto rendimiento) al sulfato, que se puede usar además para revestimiento kraft de cartón corrugado.

4.3 Procesos químicos para la producción de pulpa

El único proceso químico que se puede recomendar para la producción de pulpa con maderas duras tropicales mixtas, es el

1/ ISO = Organización Internacional de Standardización; método propuesto actual.

proceso al sulfato. La pulpa obtenida es apta para la producción de papel para envolver de buena calidad, papel para sobres y para sacos. Totalmente blanqueada hasta una blancura de aproximadamente 90 (ISO) esta pulpa se puede usar para papeles finos de escribir y de imprenta, así como también para papeles muy livianos, sanitarios y de uso doméstico.

La utilización de maderas duras tropicales mixtas para la producción de pulpas solubles para rayón, probablemente no es factible dada la heterogeneidad de la materia prima.

4.4 Clases de pulpa exportable

La única clase de pulpa apta para el mercado internacional que puede obtenerse de las maderas duras tropicales mixtas, es la pulpa al sulfato blanqueada. Los otros tipos de pulpa deben ser utilizados en el país para ser convertidos en productos más o menos acabados, tales como papeles para escribir y para imprenta, corrugado medio, cartón corrugado, cajas de cartón corrugado, papel para sacos, etc.

5. Posibilidades para utilizar la pulpa de maderas duras tropicales mixtas para la fabricación de diferentes clases de papel.

5.1 General

Ya se ha dicho que el principal interés de América Latina en cuanto al consumo nacional de papel y cartón está en el autoabastecimiento de papel para periódicos, corrugado medio y revestimiento para cartón corrugado. Otro producto de interés puede ser el papel para sacos que se pueda producir con un porcentaje substancial de pulpa de maderas duras tropicales mixtas. El papel de imprenta y de escribir, así como los papeles muy livianos, sanitarios y domésticos (tissue), también se pueden producir con pulpa de maderas duras tropicales mixtas. Sin embargo, en casi todos los casos se requiere de cierto porcentaje de pulpa de fibra larga.

Aunque no es posible producir papel para periódicos de la calidad internacional actual en base a pulpa de maderas duras tropicales mixtas, existe aún la posibilidad teórica de obtener productos que puedan servir como sucedáneos de ese papel para el consumo interno, o aún para el consumo intraregional, ahorrando así divisas para la importación de otros artículos necesarios.

5.2 Papel para periódicos

El papel para periódico para el mercado internacional, contiene aproximadamente 75% de pulpa mecánica y 25% de pulpa química de fibra larga, generalmente pulpa al sulfato semi-blanqueada. Las características normales de este tipo de papel para periódicos están indicadas en el Cuadro VII. Sin embargo para el consumo local son aceptables calidades inferiores y la correspondiente mezcla fibrosa para la producción de papel puede basarse en otros tipos de pulpa.

Cuadro VII. Características de la calidad del papel para periódicos en el mercado internacional

<u>Propiedades</u>	<u>Dirección de la máquina</u>	<u>Dirección transversal</u>	<u>Promedio</u>
Densidad, g/cm ³	-	-	0.60 - 0.70
Porosidad, Bendten, (150 mm)	-	-	200 - 70
Factor de rasgado	30 - 40	40 - 50	35 - 45
Opacidad	-	-	about 95
Absorción de aceite Unger, g/m ³	-	-	25 - 35

Hay cuatro características importantes que se requieren de una mezcla para la producción de papel para periódicos, que son las siguientes:

- a) Debe tener suficiente resistencia en húmedo para permitir la producción de papel en una máquina de alta velocidad. La velocidad depende en definitiva de la economía general del proceso, pero la velocidad mínima probablemente será de 600 m por minuto.
- b) Producir un papel con buenas características de impresión.
- c) Producir un papel con buenas características de deslizamiento en las prensas de impresión de los periódicos utilizadas en un país.
- d) Producir un papel de buenas características ópticas, especialmente con respecto a su opacidad. En el papel para periódico de uso nacional sería aceptable aún una blancura de más o menos 50 (ISO).

Es posible producir una buena pulpa mecánica de ciertas especies de maderas duras tropicales latinoamericanas de baja densidad, tales como por ejemplo, cecropia. Sin embargo, el problema reside principalmente en la extracción selectiva económica de estas especies del bosque. Si las condiciones locales son tales que hagan posible la selección de ciertas especies para la producción de pulpa mecánica, en tanto que el resto de la madera se utiliza para otros procesos de pulpa, podría desarrollarse un proyecto factible de papel para periódicos. Sin embargo, es dudoso de que se den tales condiciones.

La otra posibilidad es la de intentar el desarrollo de un sucedáneo de papel para periódicos sobre la base de procesos para la fabricación de pulpa y con una de mezcla diferente de la convencional. En tal caso es necesario reemplazar la pulpa mecánica convencional por un tipo similar de pulpa basada en un gran número de especies de madera como materia prima. Ablandando la madera mediante tratamientos térmicos o químicos antes de su refinación, existen posibilidades para ampliar el número de especies de madera para pulpa aceptables para la producción de un tipo de pulpa similar a la mecánica, tales como las pulpas que se obtienen por los procesos chemi-groundwood u otros químico-mecánicos, utilizando solamente un tratamiento químico muy suave. La introducción en la mezcla de alguna pulpa a la soda fría blanqueada o aún de pulpa al sulfato semi-blanqueada, hecha de maderas duras tropicales mixtas, puede contribuir a la reducción del contenido de pulpa importada de fibra larga, tal vez hasta en un 20%.

Sin embargo, antes de que sea posible realizar un estudio de la factibilidad económica de un proyecto de esta naturaleza a escala industrial, queda aún mucho por investigar en este campo, cosa que aún no se ha intentado en una escala digna de mencionarse. También en esos trabajos de investigación debe usarse como materia prima madera de un área forestal específica, ya que un estudio basado en la aplicación general de una pulpa para papel de diarios tipo chemigroundwood o químico-mecánica utilizando en general maderas duras tropicales de diversas densidades no tendría utilidad alguna. En cuanto a la factibilidad de un proyecto de esta naturaleza, depende enteramente de las posibilidades de la extracción selectiva económicamente factible de especies explotables y de las posibilidades de crear un mercado intrarregional para consumir la producción de una planta de tamaño óptimo.

5.3 Revestimiento de cartón para envases

Los requisitos de calidad del revestimiento de cartón para envases, generalmente se rigen por los reglamentos sobre cargas y fletes que pueden variar en los distintos países y de acuerdo con el producto que se desea embarcar en las cajas de cartón corrugado. Cuando se exigen cajas de cartón corrugado de alta calidad, éstas deben ser elaboradas con revestimiento kraft (kraftliner), en tanto que se puede utilizar Test-liner un revestimiento de cartón con propiedades inferiores a las del revestimiento kraft cuando las

exigencias son menores. El Cuadro VIII contiene las características normales tanto del kraftliner como del testliner.

Cuadro VIII Características del kraftliner y del testliner

PROPIEDADES	Kraftliner			Testliner		
	MD	CD	Promedio	MD	CD	Promedio
Peso base, g/m ²	-	-	130-320	-	-	160-4
Estallido, kg/cm ²	-	-	6.0-10.0	-	-	4.0-9
Factor de rasgado, g/cm	200-500	200-600	-	120-300	170-370	
Ring-Crush, lb.	60-130	40-100	-	70-150	45-100 _{a/}	
CLT- 0 _{b/}	30-140	15-75	-	50-170	25-100 _{a/}	

Cartón de Colombia ya produce un tipo de kraftliner basado en la siguiente mezcla:

- 40% de pulpa al sulfato sin blanquear de maderas duras tropicales mixtas.
- 35% papel y cartón residual, principalmente restos de cajas de cartón corrugado para bananas.
- 25% de pulpa de pino al sulfato sin blanquear

Sujeto a las condiciones del mercado y los precios de las materias primas, la mezcla fibrosa puede en ciertos casos llegar al 80% de pulpa nacional con un 20% de pulpa al sulfato sin blanquear de pino.

También se han realizado pruebas respecto a la substitución del componente de residuos con pulpa al sulfato de maderas duras tropicales mixtas i/ y algunos de los resultados obtenidos se indican en el Cuadro IX.

No hay duda de que se produce una disminución en las propiedades de resistencia del revestimiento kraft al efectuar este cambio en

- a/ Valores más altos para el testliner, debido a su mayor peso base.
- b/ CLT - Cóncora Liner Test.
- i/ C.H. Gómez, I Mondragón: Tappi 57 (1974):5, 140-142

su composición, pero el revestimiento elaborado en base a esta mezcla puede ser aceptable todavía en ciertos países para el embalaje de ciertos productos en cajas de cartón corrugado fabricadas en ese tipo de revestimiento.

Cuadro IX. Características del revestimiento tipo kraft obtenidas mediante experimentos en Cartón de Colombia S.A. 1/

Mezcla fibrosa	Elmendorf factor de rasgado g/cm		Resistencia al estallido kg/cm ²	CLT-0 ^b
	CD	MD		
40/25/35 ^a	289	251	5.6	52
60/25/15	256	236	4.6	48
70/30/0	243	225	4.1	49
80/20/0	242	228	4.0	50

a porcentaje de maderas duras tropicales de Sulfato/pino Sulfato/ desperdicio

b Concora liner test

En el caso de este revestimiento tipo kraft el porcentaje de pulpa de madera dura tropical mixta probablemente pueda aumentarse hasta aproximadamente el 70%. Sin embargo, el porcentaje definitivo depende en gran medida del tipo de pulpa de madera dura tropical semi-química que se utilice y de la calidad de la pulpa, así como de la calidad del revestimiento que se desee obtener.

5.4 Corrugado medio (cartón acanalado)

Se puede obtener una buena calidad de cartón corrugado con un 100% de pulpa semi-química de maderas duras tropicales mixtas (véase

1/ C.H. Gómez, I. Mondragón: Tappi 57 (1974):5, 140-142

sección 4). La calidad producida es ampliamente competitiva con la de primera clase en el mercado internacional. En el Cuadro X se incluyen algunos datos sobre cartón corrugado del mercado internacional.

Cuadro X Características del cartón acanalado de calidad para el mercado internacional

Propiedades	MD	CD	Promedio
Peso base, g/m ²	-	-	120
Espesor, cm ³ /g	-	-	1.6 - 2.0
Estallido, kg/cm ²	-	-	2.5 - 4.5
CMT, lb	-	-	40 - 90
Ring Crush	40 - 90	20 - 50	-

CMT = Concora Medium test

5.5 Papel para sacos

El papel para sacos es un papel industrial de alta calidad que cumple con requisitos especiales con respecto al factor rasgadura, longitud de ruptura, porosidad y en cierta medida resistencia al calor. Las características normales del papel para sacos del mercado internacional, se indican en el Cuadro XI.

Dado que Cartón Colombia produce con éxito papel para sacos de cemento con pulpa de maderas duras tropicales mixtas, puede afirmarse que la calidad que se obtiene es al menos aceptable para el consumo nacional o dentro de los países de la región con los cuales se comercia. La mezcla para la elaboración del papel probablemente requiere que se agregue aproximadamente un 25% de pulpa de fibra larga al sulfato a la pulpa al sulfato de madera dura tropical mixta.

Cuadro XI Características del papel para sacos en el mercado internacional

Propiedades	MD	CD	Promedio
Peso base, g/m ²	-	-	60 - 120
Estallido, kg/cm ²	-	-	20 - 35
Porosidad, Curley Hill, s/100 ml	-	-	20 - 30
Factor de ruptura, kg.	7.0 - 9.0	3.5-4.5	-
Elasticidad	2.5 - 3.5	5.0-7.0	-
Factor de rasgado	70 - 170	70-190	-
Absorción de agua, Cobb, g/cm ²	-	-	17 - 22

5.6 Papel para envolver

Como ya se ha dicho en la sección 4, se pueden producir varias calidades de papel para envolver con pulpas de maderas duras tropicales mixtas. Sin mencionar los tipos basados en un 100% de papel de desperdicio, las calidades intermedias pueden hacerse con un 100% pulpa semiquímica al sulfato neutro, pulpa semiquímica a la soda caliente o pulpa química al sulfato. Sin embargo, para las exigencias mayores se deberá utilizar una mezcla compuesta de pulpa al sulfato de maderas duras tropicales mixtas y de 10 a 20% de pulpa de fibra larga al sulfato.

5.7 Papeles para escribir e imprenta

Se pueden producir papeles baratos para escribir y para imprenta para uso nacional o intrarregional con las siguientes composiciones aproximadas de mezclas:

- a) 80% de pulpa semiquímica al sulfito neutro (blancura de 50 a 60 ISO) y 20% de pulpa de fibra larga al sulfato semiblanqueada.
- b) 70% de pulpa a la soda fría blanqueada (blancura aproximada 60 ISO) y 30% de pulpa de fibra larga al sulfato semi-blanqueada.

Los porcentajes son solamente aproximados y se pueden introducir cambios considerables agregando a la mezcla papel residual destinado y/o pulpa al sulfato semi-blanqueada de maderas duras tropicales mixtas. Sin embargo, si las pulpas de maderas duras tropicales mixtas contienen un porcentaje substancial de vasos, es necesario dar debida consideración a la composición de la mezcla para producir papel para imprenta con el fin de evitar picaduras durante la impresión.

Se puede producir papel para escribir y para imprenta de alta calidad con una mezcla consistente de pulpa al sulfato blanqueada de maderas duras tropicales mixtas con una adición de 10 a 20% de pulpa al sulfato de fibra larga blanqueada. En el caso de los papeles para off-set es de importancia esencial el contenido de vasos con el fin de evitar las picaduras, pero si ello se controla cuidadosamente, la calidad del papel es totalmente competitiva para la mayoría de los usos.

5.8 Papel y cartón de calidades exportables

Aunque es probable que la exportación de pulpa llegará a ser más significativa en el futuro que la de papel, es posible que, en cuanto al comercio intrarregional, algunas calidades de papel basadas en pulpas de maderas duras tropicales mixtas sean ampliamente competitivas aun en los mercados internacionales. Sin embargo, la mayor parte de ellos probablemente se venderá en el mercado intrarregional. Los papeles para imprenta y para escribir de alta calidad y especialmente el corrugado medio constituyen calidades aptas para la exportación, en tanto que las calidades tales como los revestimientos tipo kraft, papel para sacos y cajas de cartón corrugado utilizando aquel tipo de revestimiento probablemente se consumirán en el mercado intrarregional, aún en el caso de que su calidad fuera 100% competitiva en el mercado internacional.

Parte II. Problemas Técnicos

1. Introducción

En el curso del último decenio se ha adquirido gran experiencia en la tecnología de la producción de pulpas de maderas duras tropicales mixtas, quedando aún ciertos problemas por resolver, principalmente con el fin de mejorar detalles de la tecnología. A este respecto sin embargo, se ha puntualizado ya lo siguiente:

- que la explotación de bosques de maderas duras tropicales mixtas, deberá basarse de preferencia en la utilización completa e integrada de casi todas las especies;
- que la pulpa deberá producirse con mezclas naturales de maderas del área, excluyendo únicamente aquellas especies que definitivamente no son aptas para el proceso. Esto ha dado origen y ha subrayado la importancia de realizar un inventario forestal apropiado en combinación con estudios sobre la producción de pulpa con respecto a:
 - a) especies individuales no aptas que deberán eliminarse en una primera instancia; y
 - b) mezclas naturales de las especies aptas para evaluar la calidad de la pulpa que se puede obtener y seleccionar las condiciones del proceso.

El resultado del inventario forestal generalmente se da como promedio para toda la zona y los ensayos para la producción de pulpa se hacen con mezcla de especies que corresponden a la composición promedia del área que puede ser de un tamaño considerable.

- La dureza de algunas maderas duras tropicales da origen a problemas específicos en el astillado e impregnación;
- deberán utilizarse refinadores de disco para batir o refinar la pulpa con el fin de desarrollar debidamente las propiedades de resistencia;
- en algunos casos las pulpas de maderas duras tropicales mixtas, exhiben un comportamiento distinto al de las pulpas de materias primas convencionales en el sentido de que al refinarlas y desarrollar las propiedades de resistencia el factor de rasgado de algunas pulpas aumenta a medida que se alarga el proceso de refinación. Esto último constituye una ventaja muy importante de estas pulpas desde el punto de vista de la fabricación de papel.

- la materia prima generalmente es apta para la producción de pulpa semiquímica para corrugado medio y pulpa al sulfato totalmente blanqueada para calidades de papel fino.

No obstante, se reconoce al mismo tiempo que hay cierta variación indeseable en la calidad de la pulpa, debido a la composición muy heterogénea de una zona forestal tropical. La heterogeneidad de un bosque tropical mixto se puede expresar en dos maneras diferentes:

- heterogeneidad con respecto al número de especies en general, pero con una distribución uniforme del tipo de bosque en toda la zona, es decir un bosque homogéneamente heterogéneo;
- heterogeneidad con respecto al número de especies, así como con respecto a la composición y naturaleza de las diversas partes de la zona forestal, es decir un bosque heterogéneamente heterogéneo.

En el primer caso las variaciones en calidad pueden ser pequeñas y totalmente aceptables; en el segundo pueden ser considerables y en consecuencia dar origen a problemas para controlar los procesos de fabricación de pulpa y de papel. Las causas de estas dificultades residen principalmente en el hecho de no reconocer la naturaleza de la fuente de materia prima - el bosque - no adaptar las operaciones forestales para satisfacer los requisitos de los procesos de fabricación de pulpa con dicha materia prima. La explotación de un área forestal de estas características todavía se basa en los principios que son aptos para rodales puros de una o de unas pocas especies.

Se considera comúnmente que la utilización de un bosque de maderas duras tropicales mixtas es temporal hasta que se hayan establecido plantaciones apropiadas en la zona, con especies exóticas consideradas útiles para la producción de pulpa, después de que el bosque virgen haya sido totalmente explotado. Sin embargo, la introducción de especies exóticas en algunas zonas forestales tropicales puede ser imposible, debido a las condiciones locales del suelo y la cantidad de lluvia. En tales casos, la regeneración deberá basarse en las especies locales - ya sea mediante su plantación o por una regeneración natural controlada.

2. Modalidad de explotación de un bosque de maderas duras tropicales mixtas

Existen dos escuelas principales de pensamiento respecto a la forma en que debe explotarse un bosque de maderas duras tropicales - una consiste en la extracción selectiva de un número limitado de especies y la otra en la cosecha casi total de todas las especies en el área, excluyendo sólo unas pocas especies.

La primera forma representa el enfoque clásico que, no obstante, ha resultado anti-económico, excepto cuando las especies seleccionadas constituyen la mayor parte de la madera disponible en el bosque. El motivo del apoyo que recibe esta forma de utilización es que se afirma que el uso de la mayor parte de las especies resulta en una sobre-explotación del bosque. Por otra parte, se ha afirmado que la explotación selectiva de un bosque reduce el valor de éste, debido a que de ello va resultando una sobre-representación gradual de las especies inaptas. Esta forma de explotación se puede justificar en cierta medida, si las condiciones locales hacen imposible la plantación de especies exóticas y existe un temor serio de producir erosión en el caso de una tala casi total. Sin embargo, en estas condiciones la factibilidad del uso del área como fuente de madera para pulpa, es muy dudosa, a menos que se contemple la producción de pulpa sobre la base de residuos de la industria maderera mecánica.

Los motivos para apoyar la extracción casi total de las especies disponibles en un área, han sido básicamente los siguientes:

- mejoramiento de la economía de la utilización del bosque; y
- la posibilidad de establecer plantaciones de especies exóticas en las partes taladas del bosque.

De esta manera se resuelve al mismo tiempo el problema de la sobre-representación de especies indeseables. No obstante, como ya se ha dicho, la introducción de especies exóticas no es posible en todos los casos debido a las condiciones locales y en este caso la regeneración del bosque debe basarse ya sea en plantaciones de especies locales o en la regeneración natural. En lo que respecta a la primera alternativa, es posible que sea necesario basar las plantaciones en una mezcla de varias especies dado que las experiencias realizadas en Colombia han demostrado que las semillas provenientes de áreas vecinas que no han sido taladas causan alteraciones considerables, lo que imposibilita la mantención de rodales puros. Aunque aparentemente la regeneración natural da lugar a una reducción considerable en el número de especies, queda aún el problema del manejo apropiado de la regeneración natural - un problema para el cual no se ha encontrado una solución satisfactoria hasta el momento. Aun si se encontrara una solución para una zona ésta podría resultar inaplicable en otra. Aunque quedan problemas por resolver en relación con la extracción casi total de todas las especies de una zona, no hay duda que esta alternativa es preferible a la de la tala selectiva.

3. Extracción de la madera de bosques de maderas duras tropicales para la producción de pulpa

Las condiciones existentes en un bosque de maderas duras tropicales presentan ciertos problemas específicos con respecto a los métodos de extracción. En primer término, la construcción de caminos puede resultar extremadamente tediosa y lenta y una vez que ellos han sido establecidos se necesita una vigilancia y mantención continua durante la temporada de las lluvias. Además de esto, debido a que frecuentemente el subsuelo es blando, probablemente no será posible trazar los caminos en el terreno de acuerdo con lo deseado. En esas circunstancias los caminos deberán coincidir con determinadas rutas naturales, las cuales podrán dejar una parte substancial del bosque inaccesible a la explotación. Aún en el caso de haber construido caminos, éstos pueden ser intransitables durante parte del año. 1/

En el caso de que el subsuelo no tenga suficiente capacidad de carga, la extracción de la madera hacia el costado del camino o hacia un río debe realizarse sin hacer uso de maquinaria pesada. El procedimiento normal es de utilizar cables y cabrías para esta finalidad. Aunque hay cabrías que permiten un radio de acción de hasta un kilómetro, ello aún limita la profundidad hasta la cual se puede explotar un área forestal desde un camino o un río. El uso de dos sistemas en series de cabrías con una estación de recarga entre una y otra hace posible aumentar el radio. Por el contrario, si el subsuelo tiene una capacidad de carga suficiente, es posible utilizar arrastradores para la extracción.

Gran parte de la tala debe realizarse con una combinación de hachas y sierras continuas, en tanto que para cortar las trozas pueden utilizarse solamente las sierras. Los troncos del tamaño excesivo deben ser divididos manualmente en el bosque y en este caso también será necesario descortezarlos manualmente allí mismo. En América Latina tradicionalmente se utilizan machetes para el descortezado, tajando con ellos la corteza. Sin embargo, este procedimiento no es recomendable ya que tiende a quedar adherida en los troncos gran parte de la corteza. El trabajo con un cuchillo descortezador de doble asa es más eficiente para el descortezado manual.

1/ B.R. Cárdenas, Experiencias prácticas en la producción de pulpa de maderas duras tropicales mixtas. UNIDO Expert Group Meeting on Pulp and Paper, Vienna, Septiembre 1971.

El descortezado mecánico puede aplicarse en la planta, preferentemente utilizando descortezadoras a fricción para un solo tronco. La descortezadora de tambor o de bolsillos no es recomendable, ya que la mezcla de maderas muy blandas y muy duras, parte de ellas en la forma de troncos partidos, pueden causar la desintegración de los más blandos. Otro problema relacionado con el descortezado mecánico puede ser el que presenta la extrema dureza que adquiere la corteza de algunos árboles al secarse. Dichos árboles deben ser descortezados preferentemente en forma manual en el bosque.

Debido al hecho de que un alto porcentaje de las maderas duras tropicales latinoamericanas tienen una densidad superior a la del agua, el transporte de la madera para pulpa por los ríos tal vez deba hacerse sobre balsa, aunque algunos troncos para la industria mecánica de la madera podrán flotar.

Para mayores detalles sobre la extracción de madera de los bosques tropicales, se hace referencia a "Logging and Log Transport in Tropical High Forests", FAO, Roma 1975.

4. Problemas en la planta para pulpa

Los principales problemas en la planta para pulpa respecto a las maderas duras tropicales mixtas son los siguientes:

- dureza de la madera que causa un desgaste considerable de los cuchillos de astillado;
- dificultad para la impregnación de la madera en los digestores;
- variabilidad en la calidad de la pulpa producida debido a la heterogeneidad del suministro de madera para pulpa.

Además, las pulpas de maderas duras tropicales mixtas tienden a consumir una cantidad levemente superior de elementos químicos para el blanqueo que las otras materias primas madereras. Sin embargo, este es un problema principalmente económico, más bien que técnico. La variabilidad en la calidad de la pulpa se trata separadamente en la sección 5.

La dureza de la madera reduce considerablemente la capacidad de la astilladora, debido al excesivo desgaste de las cuchillas, que requieren trabajo de mantenimiento entre dos y tres veces por jornada. Por lo tanto se requiere un taller de mantenimiento de astilladoras bien equipado y con suficiente personal. Con

respecto a la calidad de las cuchillas de la astilladora, las de calidad superior requieren menos mantenimiento, pero en cambio su precio es superior. El costo real del astillado por tonelada, tomando en cuenta el precio de las cuchillas y el costo de mantenimiento es por lo tanto aproximadamente el mismo con cualquiera de la mayor parte de las calidades de cuchillas.

El problema de la impregnación de las astillas en relación con el ciclo de cocción se resuelve fácilmente, aplicando un tiempo para alcanzar la temperatura máxima de por lo menos una hora y media. Otro procedimiento ha sido el de escamar la madera en lugar de astillarla en la forma normal, y secando las escamas antes de introducirlas en el digestor. Este proceso, que se denomina Mosca-moscón o MM y que fue desarrollado en Argentina, tiene como ventaja un tiempo menor de impregnación, un menor consumo químico y la posibilidad de utilizar vapor directo en la cocción. Sin embargo, existe al mismo tiempo una disminución de las propiedades de resistencia de la pulpa, y la factibilidad económica del proceso ha sido puesta en duda. Aún no se ha determinado del todo la posibilidad de aplicarlo a maderas duras tropicales mixtas. Hasta el momento, no existe una instalación a escala técnica basada en este procedimiento.

A causa del problema de impregnación, que puede ser resuelto con métodos de producción de pulpa alcalinos o casi neutrales, las maderas duras tropicales mixtas en general son inaptas para la producción de pulpa al sulfito ácido o bisulfito, aunque en México se han desarrollado métodos al sulfito para la fabricación de pulpa a base de este tipo de materia prima. No obstante, es dudoso que alguna nueva instalación basada en el procedimiento al sulfito fuera económicamente factible en la actualidad.

Además de los importantes problemas mencionados anteriormente hay otros dos, los que sin embargo pueden y deben ser evitados mediante la eliminación de las especies madereras que originan los problemas. Estos se deben a un alto contenido de sílice y de látex en la madera. Ambos elementos causan problemas en relación con la recuperación de los productos químicos y el látex también puede contaminar la pulpa en la forma de manchitas.

Constituye en general un problema de menor gravedad el alto contenido de extractivos de etanol-benceno en la madera ya que ello puede solucionarse mediante la aplicación de aditivos ya sea en el proceso de producción de pulpa o de papel.

5. Variabilidad en la calidad de la pulpa

5.1 General

Es de conocimiento general que las variaciones de las características de una materia prima para la producción de pulpa colocada en los digestores causan variaciones en la calidad de la pulpa resultante. Como en cualquier sistema de control, el control de la variabilidad de la calidad del producto saliente, resultante de las variantes introducidas en el proceso es tan eficaz como lo haya sido el control de las características de la materia prima entrante. Con materia prima de un bosque tropical homogéneamente heterogéneo, es posible mantener un nivel promedio constante de calidad por meses y años sin mayor esfuerzo en tanto que se asegure que las variaciones a corto plazo debido a pequeñas diferencias en la composición entre las diferentes áreas de maderero se reduzcan al mínimo mediante la utilización de zonas de amortiguación en la forma de depósitos de concentración de trozas en el bosque, así como también al almacenamiento de trozas y astillas en la planta. Mezclando debidamente la materia prima, es posible reducir considerablemente las variaciones diarias. Los problemas prácticos del almacenamiento de trozas y astillas bajo condiciones tropicales han sido estudiados y discutidos ampliamente en los últimos años, pero solamente desde el punto de vista del almacenamiento, en tanto que la teoría de mezcla que ello entraña ha sido descuidada en gran medida.

En el caso de un bosque homogéneamente heterogéneo, las variaciones de calidad pueden reducirse fácilmente por medio del uso controlado de zonas de amortiguación, donde el período de almacenamiento necesario es muy corto, de aproximadamente dos semanas. Sin embargo, si el bosque es heterogéneamente heterogéneo el problema es más difícil. En este caso se producirán variaciones a largo plazo en la calidad de la pulpa además de las variaciones a corto plazo ya mencionadas. Esto se debe a las grandes diferencias de composición entre las distintas áreas del bosque, y, a medida que los diferentes tipos de bosque se hacen accesibles durante la extracción, se producirá la consiguiente variación en la calidad de la pulpa. Utilizar sólo zonas de amortiguación para eliminar estas variaciones requeriría de períodos de almacenamiento de aproximadamente 6 meses y aún éstos serían insuficientes. Es evidente que con las condiciones de almacenamiento que prevalecen en las zonas tropicales, tales períodos de almacenamiento serían enteramente inaplicables.

Sin embargo, hay otra posibilidad para evitar las variaciones a largo plazo. Consiste en utilizar el conocimiento apropiado sobre las características de la madera para pulpa que puede obtenerse en los diferentes sectores dentro del bosque para entonces efectuar una extracción controlada de combinaciones de distintos tipos de madera para pulpa y mezclarlas en las zonas de amortiguación. De esta manera, los árboles en pie en los sectores forestales forman una zona primaria inicial de amortiguación. Este tipo de control de calidad, basado en las dimensiones de la fibra más que en las características para la producción de pulpa, se aplicó con éxito en una pequeña planta piloto en la Costa de Marfil en los primeros años del decenio de los cincuenta. Sin embargo, esta planta ya no está en uso debido a su tamaño anti-económico.

En las siguientes secciones 5.2 y 5.3 se plantearán las diferentes posibilidades para reducir a un mínimo las variaciones de la calidad de la pulpa.

5.2 Zonas de amortiguación

La forma establecida para evitar las variaciones en la calidad de la pulpa producida con maderas duras tropicales mixtas es la de utilizar zonas de amortiguación en la línea de producción para reducir la influencia de la variación del material entrante sobre la calidad de la pulpa producida. El efecto de estas zonas de amortiguación es que dan lugar a la mezcla de materia prima proveniente de los distintos sectores del bosque, primero en los depósitos de concentración de trozas en el bosque y en el depósito de madera de la planta y en segundo término en el depósito de astillas de la planta. Otra posibilidad que ha sido tomada en consideración ha sido la mezcla y almacenamiento de pulpa líquida.

Casi todos los estudios realizados hasta el momento sobre la utilización de zonas de amortiguación han sido cualitativos y no cuantitativos en el sentido que se han preocupado de la influencia del almacenamiento de las trozas o de las astillas en las condiciones prevalecientes en las zonas tropicales en la calidad de la madera para la pulpa y en el rendimiento de la elaboración de pulpa. La teoría de mezcla que ello entraña ha sido completamente desatendida aunque la razón básica para establecer las zonas de amortiguación ha sido la de lograr mezclas apropiadas. La principal razón de esto es que el área boscosa ha sido considerada como una entidad uniforme, debido a la técnica de inventario forestal aplicada, y las variaciones dentro del área con respecto a las características de la madera para ser convertida en pulpa, aunque reconocidas, no han sido cuantificadas. Es evidente que un conocimiento de las variaciones de la composición de una zona forestal en relación con las características para la producción

de pulpa de la madera que puede obtenerse de los distintos sectores dentro del área, no es posible cuantificación alguna de las características del suministro de materia prima y en consecuencia no hay bases para la evaluación de la forma óptima de utilizar una combinación de distintas zonas de amortiguación entre los árboles en pie en el bosque y el depósito de astillas en la planta para pulpa.

Es evidente además, que las zonas de amortiguación sólo sirven para disminuir la influencia de las variaciones a corto plazo en la calidad del suministro de madera para pulpa; no tienen influencia alguna en las variaciones a largo plazo. La única forma de influenciar estas últimas es mediante la extracción controlada, basada en el conocimiento de la composición forestal y su variabilidad con respecto a las características de la pulpa que se puede obtener de la madera de los distintos sectores del bosque. Una vez adquiridos estos conocimientos existe la posibilidad de determinar el tiempo óptimo de almacenamiento en la forma de trozas y de astillas, tanto en el bosque como en la planta.

No hay duda que las zonas de amortiguación forman una parte importante del sistema para nivelar las variaciones de calidad de la pulpa. Sin embargo, la manera en que se forman estas zonas de amortiguación y la manera en que la madera para pulpa se retira de ellas es aún más importante que el tiempo de retención. Por ejemplo, para asegurar una mezcla apropiada una pila de astillas deberá formarse con capas horizontales en tanto que la alimentación de los digestores debe basarse en la extracción vertical de las astillas de la pila. Esta técnica se usa comúnmente en el almacenamiento de bagazo a granel pero generalmente no se aplica en el de astillas de madera.

Las condiciones de almacenamiento de trozas o astillas varían considerablemente dentro de la región tropical, principalmente debido a las diferencias en la distribución anual de la lluvia - que va desde zonas con lluvias continuas durante todo el año, hasta zonas donde la lluvia está limitada a ciertas estaciones. Hay consenso respecto al peligro de ataques de hongos, bacterias e insectos en la madera y que la calidad de ésta disminuya por el almacenamiento prolongado. No obstante, su influencia en el rendimiento de pulpa todavía no se ve claramente, ya que la pérdida de madera durante el almacenamiento, principalmente en la forma de astillas, a menudo se compensa por un aumento aproximadamente igual en el rendimiento de la producción de pulpa. En efecto, la utilización de bacterias selectivas en las pilas de astillas ha sido considerada en regiones templadas como un medio de pretratamiento de las astillas antes de la cocción de aquéllas.

Aunque aparentemente no se producen pérdidas dignas de mención en la cantidad final de la pulpa que se puede obtener de la madera después del almacenamiento de las astillas, parece producirse una leve baja en las propiedades de resistencia después de un prolongado almacenamiento. En el sur de los Estados Unidos en general se considera óptimo el almacenamiento de madera en la forma de astillas sólo por aproximadamente una semana, debido a su posible efecto sobre la calidad de la madera y a la pérdida de trementina en las primeras astillas. Sin embargo, en este caso se trata de astillas de una sola especie. La finalidad del almacenamiento de la madera y de las astillas en el caso de una materia prima como la madera dura tropical mixta es enteramente distinta - se trata de mezclar y homogenizar una materia prima heterogénea. Probablemente sea suficiente un almacenamiento de aproximadamente dos semanas en el caso de las astillas pero ello también depende de la heterogeneidad de la materia prima, la utilización de depósitos y patios de almacenamiento de trozas y el control requerido en combinación de las formas de almacenamiento. Estos factores aún no han sido debidamente estudiados cuantitativamente.

5.3 Control de las variaciones de la calidad de la pulpa mediante el control del flujo de materia prima

Lo ideal sería llevar a cabo un control de la calidad de la pulpa sobre la base de la composición del bosque, dividiéndola en sectores que sean homogéneamente heterogéneos con respecto a la calidad de la pulpa que puede producirse con la madera de dichos sectores, y controlando la extracción de madera de tal manera que la combinación de madera para pulpa de varios sectores de distinta composición resulte en una variación mínima a largo plazo en la calidad de la pulpa.

Para llegar a un sistema de control de calidad de este tipo, se necesita lo siguiente:

- un inventario preliminar del bosque, realizado por ejemplo por medio de fotointerpretación y la topografía general con el fin de dividir el bosque en sectores de composición uniforme;
- subdivisión de los sectores en unidades de maderero con un inventario detallado, incluyendo muestreo de especies madereras, de algunas de estas unidades dentro de cada sector;
- determinación de las características de las especies individuales para la producción de pulpa y papel bajo condiciones constantes de producción;

- determinación de las características para la producción de pulpa y papel de algunas mezclas naturales de madera que se pueden obtener de los diferentes sectores.

La utilización de la información obtenida mediante estos estudios se muestra esquemáticamente en la Figura 1. Una relación más detallada, incluyendo el tratamiento matemático, está incluida en el Apéndice 2 y en el programa de investigación para un estudio de este tipo en el Apéndice 3.

El objetivo del estudio es el de obtener información para cada sector sobre las características para la producción de pulpa de una mezcla natural de madera así como sobre las variaciones dentro de los sectores. Sobre la base de esta información es posible estimar la variación de las características para la producción de pulpa en una selección controlada de una mezcla de madera para pulpa proveniente de varios sectores. La variación a que se llega en esta forma es la variación primaria, que se reduce aún más mediante la utilización controlada de patios de almacenamiento para trozas y depósitos de astillas en pilas. De este modo la variación final en la calidad de la pulpa es aún menor.

La investigación se basa en la elaboración de pulpa de especies individuales, ya que ésta es la forma más económica de obtener la información necesaria. Ello permite estimar la variación dentro y entre sectores y lo más importante - es que el material gradualmente recolectado sirve también para realizar estudios futuros en otros sectores y áreas, una vez que se han obtenido los resultados del inventario forestal para dichos sectores o áreas. Aunque las características para la elaboración de pulpa y papel de los componentes de una mezcla no son en términos generales estrictamente sumables, se atiende a ello realizando también pruebas con algunas mezclas naturales. Comparando por una parte los resultados para mezclas estimados a base de los resultados de los componentes en la forma de promedios ponderados con los resultados obtenidos de las mezclas reales por la otra, se obtiene una curva de corrección para compensar las diferencias. Utilizando tres juegos distintos de condiciones en las pruebas con mezclas naturales, se puede estimar la influencia de las variables del proceso sobre una mezcla de maderas definitivamente seleccionada.

Una alternativa sería la de basar todo el sistema en la elaboración de pulpa y ensayos solamente con mezclas naturales. Sin embargo, en este caso será necesario realizar varias pruebas de producción de pulpa para cada sector - al menos una para cada unidad de muestreo dentro del sector con el fin de llegar a determinar la variación dentro de él y esto deberá repetirse para

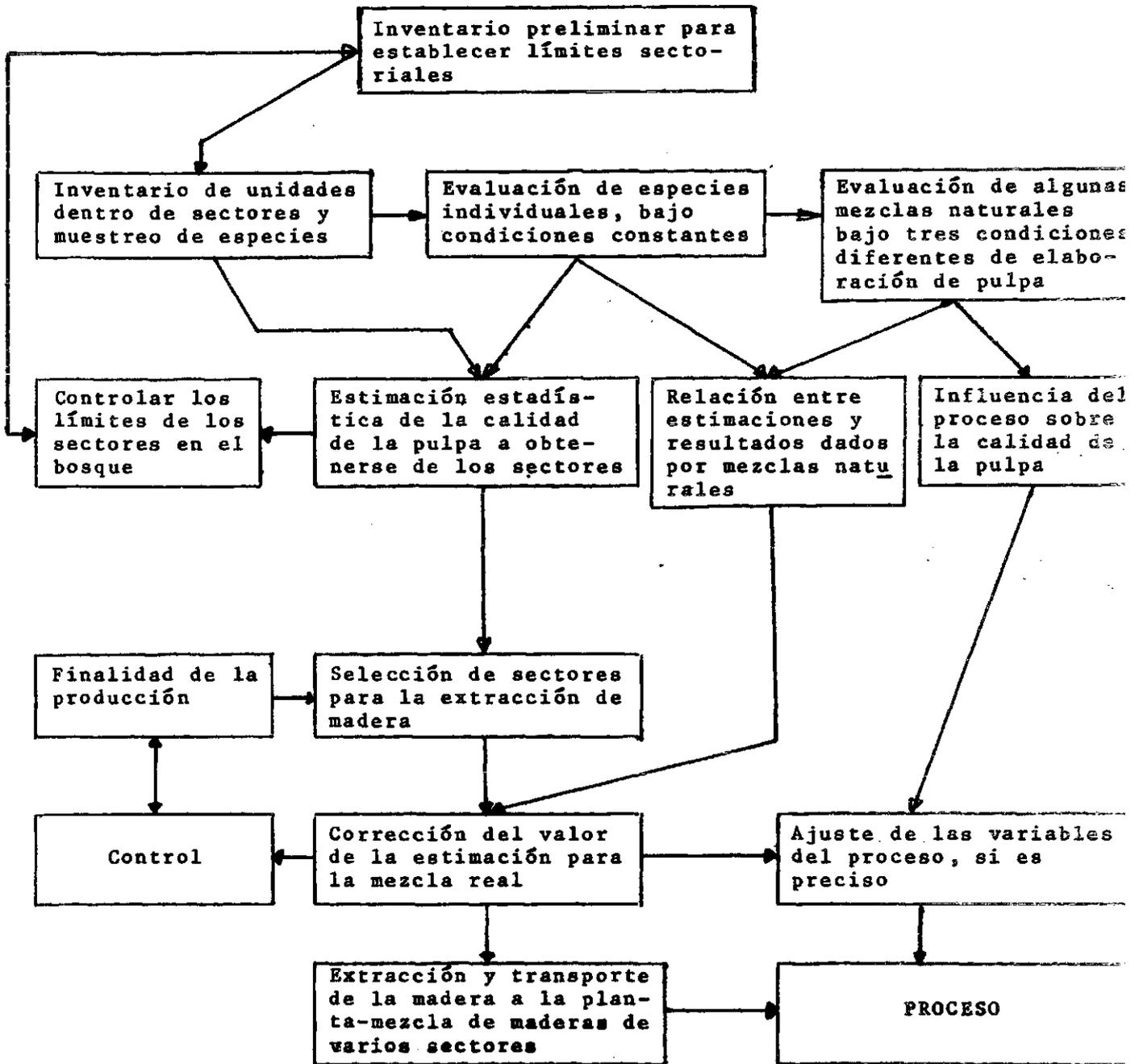


Fig. 1. Control de la calidad de la pulpa basado en una evaluación estadística de las fuentes de materia prima, con control completo de la extracción.

todos los sectores que se estudien en los años siguientes. Además, el tamaño de la muestra para cada ensayo de elaboración de pulpa debería ser considerable para lograr buenas mezclas de astillas de 100 a 150 especies de madera. Por consiguiente es más práctico y económico reducir a un mínimo esta parte del trabajo.

No obstante, un sistema de control de calidad como éste requiere un control excelente de la explotación del bosque y del flujo de madera para pulpa hacia la planta. Si el control de la explotación o del flujo de la madera para pulpa debe restringirse por alguna razón en algunos respectos, puede aplicarse un sistema modificado. Para esta finalidad será necesario una clasificación de la aptitud de la materia prima para ser controlada, como sigue:

- madera para pulpa que no puede ser controlada;
- madera para pulpa que se puede controlar solamente respecto a su flujo hacia la planta;
- madera para pulpa que se puede controlar tanto con respecto a la extracción de la madera del bosque como con respecto a su flujo hacia la planta.

Con el fin de obtener información sobre las características para la producción de pulpa de la madera para pulpa perteneciente a las dos primeras categorías, es necesario realizar repetidos muestreos de los flujos de madera para pulpa hacia la planta, realizando pruebas de producción de pulpa y papel separadamente para cada muestra, usando las mezclas como están a su llegada a la planta o en el depósito de concentración de trozas en el bosque, en el segundo caso. La tercera categoría de madera para pulpa se evalúa en la forma ya descrita.

El sistema de control resultante para la calidad de la pulpa se indica esquemáticamente en la Figura 2. Se debe señalar que la necesidad de utilizar un sistema de este tipo en lugar del indicado en la Figura 1 prueba que la planta no tiene un control adecuado sobre sus fuentes de materia prima para la producción de pulpa. Las razones de ello pueden deberse a una escasez general de madera para pulpa en el área debido a la existencia de una planta excesivamente grande, explotación excesiva del bosque en el pasado o a una concesión forestal que no atiende a la necesidad de una explotación debidamente planificada específicamente adaptada a las condiciones y a las características de un bosque de maderas duras tropicales.

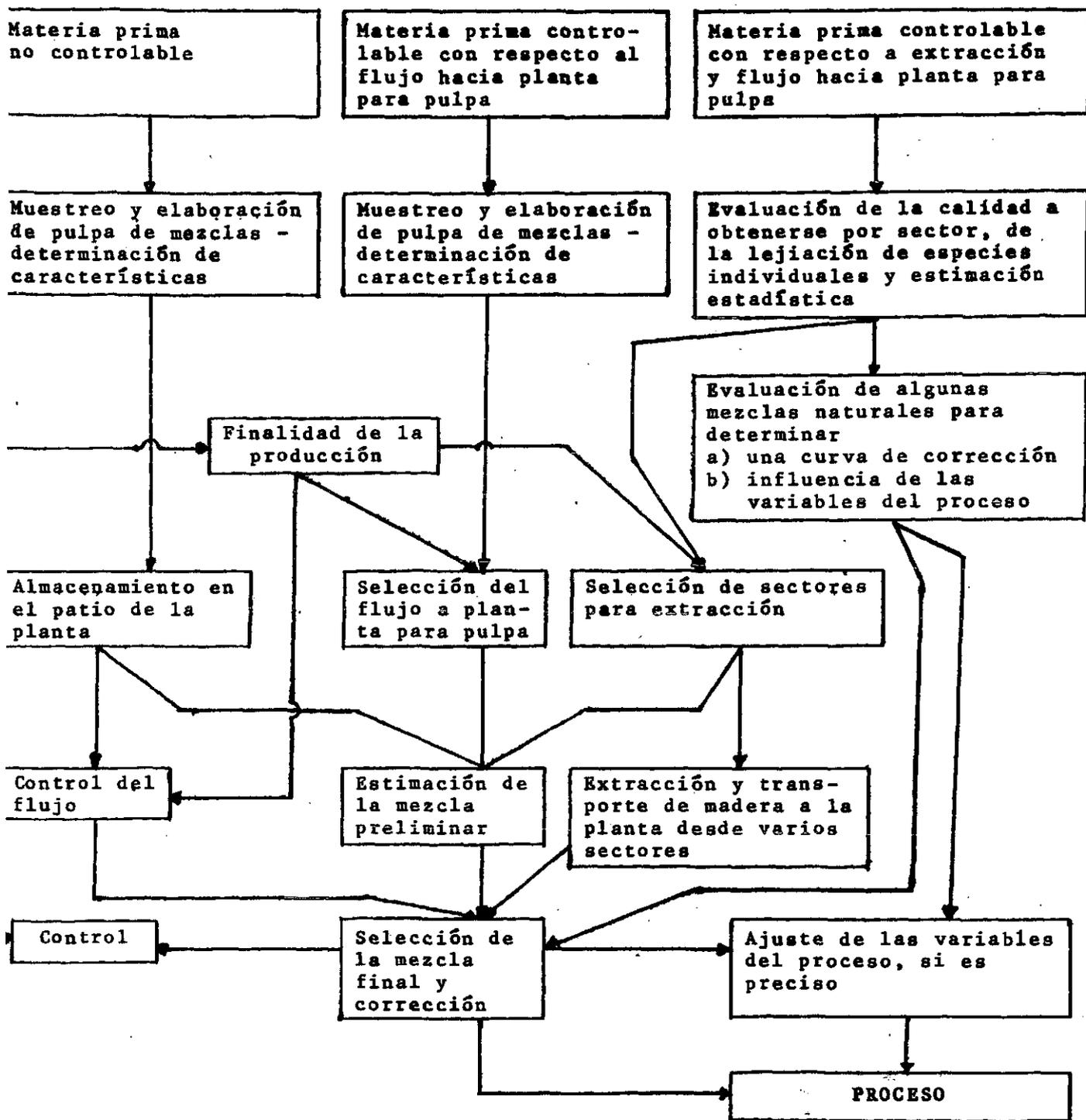


Fig. 2. Control de la calidad de la pulpa basado en una evaluación estadística de las fuentes de materia prima, con control incompleto de las fuentes de madera.

Parte III. Conclusiones

1. Introducción

En esta parte final del informe se presentan las conclusiones y recomendaciones basadas en los análisis presentados en las dos partes anteriores.

2. Conclusiones

Se puede considerar que existen posibilidades para que América Latina se convierta en un exportador neto de pulpa de fibra corta al sulfato blanqueada así como de algunos tipos de papel elaborados de una mezcla de maderas duras tropicales en lugar de un exportador de madera para pulpa. Los principales mercados serían Europa y Japón, con la competencia principalmente de Norteamérica y Africa.

Por otra parte, para el consumo intrarregional de algunas clases de papel, principalmente papel para diarios y papeles industriales tales como revestimiento tipo kraft para cartón corrugado, corrugado medio y papel para bolsas será necesario utilizar los recursos disponibles de materia prima para pulpa para estos tipos de productos. La calidad del corrugado medio que puede obtenerse con las maderas duras tropicales mixtas es ampliamente competitiva en cualquier mercado, pero la misma materia prima también puede ser utilizada para la producción de otras clases de papeles industriales, al menos para consumo intrarregional. Sin embargo, es muy dudoso que se pueda desarrollar un proyecto factible para papel de diario sobre la base de madera de bosques de maderas duras tropicales mixtas, a menos que las condiciones locales sean ideales para la extracción selectiva de una cantidad limitada de especies para esta finalidad.

También es factible producir papeles para escribir y para imprenta con maderas duras tropicales mixtas, algunos de los cuales pueden ser competitivos aún en el mercado internacional.

En vista de ello se puede dar como sentado que el bosque de maderas duras tropicales mixtas puede ser utilizado como fuente de materia prima para ciertos tipos de pulpa y papel, algunas de las cuales pueden ser competitivas aún en el mercado internacional. En todo caso, la utilización de esta materia prima reduciría la importación de algunas clases de pulpa y papel proporcionando además posibilidades para exportar ciertos tipos. Sin embargo, en vista del gran interés que hay actualmente en América Latina para la producción de pulpa de maderas duras tropicales mixtas, cualquier proyecto de este tipo debe estar basado en un estudio cuidadoso de los mercados y en la factibilidad total del proyecto.

Los problemas técnicos que entraña la producción de pulpa de madera dura tropical mixta se relacionan además estrechamente con la fuente de la materia prima - el bosque - que con los problemas en la planta.

Es esencial que el estudio de factibilidad para un proyecto de pulpa y papel basado en maderas duras tropicales mixtas se base en inventarios de las áreas forestales previstas como fuentes de materia prima, en vez de en un inventario general de la región. Además de esto, se necesita información sobre el volumen real de madera que se puede extraer, tomando en cuenta una tasa estimada de regeneración y la accesibilidad de las distintas partes del bosque y la rapidez con que pueden hacerse accesibles durante las distintas etapas de explotación. Este ritmo depende en gran medida de la rapidez con que puedan construirse caminos en el bosque, tomando en cuenta la capacidad de carga del subsuelo. La accesibilidad está fuertemente afectada por la cantidad de lluvias así como por las condiciones topográficas que a su vez afectan la factibilidad de construir caminos de manera tal que sea posible explotar todas las partes del bosque. El área neta explotable de un bosque en algunos casos extremos puede ser de sólo el 60% del total del área.

Sin embargo, todo el éxito en el funcionamiento sin problemas de una planta para pulpa basada en maderas duras tropicales mixtas depende de la posibilidad de establecer un manejo y control adecuado de las operaciones del bosque, sobre la base de una planificación a largo plazo de la explotación del mismo y también de la producción de pulpa tomando en cuenta particularmente la naturaleza específica del bosque de maderas duras tropicales mixtas así como las necesidades determinadas por el objetivo de la utilización de éste - la producción de pulpa. Por tal motivo es esencial que los contratos de concesión de los bosques para la producción de pulpa de madera dura tropical mixta sean formulados de tal manera que sea posible un manejo y control de este tipo con el fin de asegurar la óptima operación económica y técnica del bosque y del complejo de la planta.

Es esencial que el contrato de concesión permita la extracción simultánea de madera de varios sectores dispersos en toda el área de acuerdo con la accesibilidad de dichos sectores en las diferentes etapas de extracción y también con la aptitud de la madera para pulpa que se pueda obtener de una combinación controlada de madera de los distintos sectores. De esta manera el flujo de madera para pulpa hacia la planta no presentará problemas y la pulpa que se pueda producir será de calidad uniforme. Tales bases

para el contrato permitirán la aplicación de un sistema de control de la calidad de la pulpa como el descrito en la Segunda Parte, Sección 5.3, y presentada en forma esquemática en la Figura 1. De esta manera las variaciones a largo plazo de la calidad de la pulpa pueden reducirse a un mínimo en tanto que las variaciones a corto plazo se controlan mediante la utilización de zonas de amortiguación en la forma de depósitos de concentración de trozas y pilas de astillas en forma controlada.

En consecuencia, los contratos de concesión deben conceder derechos para la extracción de un volumen anual del área total del bosque en vez de derechos para explotación anual de ciertos sectores, elegidos sin debida consideración de la factibilidad de mantener un flujo constante de madera para pulpa hacia la planta o una calidad constante de la pulpa. Al mismo tiempo el contrato debe basarse en una planificación a largo plazo de la explotación en etapas y un programa de reforestación, ya sea mediante la plantación o bien por la regeneración natural controlada, tomando en cuenta la velocidad de rotación del bosque en sus distintas partes. No obstante, como no se puede esperar contar con toda esta información desde un principio, es necesario realizar un estudio continuo del bosque modificando los planes de acuerdo con los resultados que se vayan obteniendo.

En resumen, los principales problemas en relación con el éxito en la operación económica y técnica de una planta para pulpa de maderas duras tropicales mixtas como materia prima son los siguientes:

- 1) variaciones inaceptables e incertidumbres en el flujo de madera para pulpa desde el bosque a la planta debido a:
 - no haber reconocido en toda su extensión la naturaleza especial de la fuente de materia prima en comparación con la madera de plantaciones y bosques naturales con rodales casi puros de pocas especies y por otra parte las necesidades específicas de un proceso de fabricación de pulpa utilizando dicha fuente de materia prima;
 - dificultades respecto a la accesibilidad de las áreas interiores del bosque después de la explotación inicial de las zonas inmediatamente accesibles;
 - lentitud en la construcción de caminos y en algunos casos limitaciones con respecto a la posibilidad de construir caminos a voluntad en el área;
 - limitaciones en el alcance de extracción desde un camino o un río.

- 2) **Variaciones inaceptables en la calidad de la madera para pulpa de un bosque heterogéneamente heterogéneo debido a la falta de un control serio de la explotación del bosque con el fin de obtener una calidad uniforme de pulpa.**

No obstante, estos problemas pueden ser resueltos mediante planificación, manejo y control adecuado.

3. Recomendaciones

Para lograr un mejoramiento substancial en las condiciones de utilización de bosques de maderas duras tropicales mixtas para la producción de pulpa se recomienda lo siguiente:

- i. desarrollo de un sistema completo de manejo, por ejemplo en forma de estudio piloto para algún bosque de madera dura tropical, tomando en cuenta la accesibilidad de los distintos sectores para la explotación por etapas, las características para la elaboración de pulpa de los diferentes sectores dentro del bosque y la selección controlada de los sectores para mezclar la madera para pulpa de diversos sectores con el fin de asegurar una calidad uniforme de la pulpa;
 - ii. realización de pruebas para el estudio de sistemas óptimos de manejo para la reforestación de los distintos bosques de maderas duras tropicales;
 - iii. realización de un estudio de los aspectos cuantitativos de la utilización de los depósitos de concentración de trozas y pilas de almacenamiento de astillas, así como la utilización óptima de estas instalaciones para disminuir las variaciones a corto plazo en la calidad de la pulpa;
 - iv. preparación de pautas sobre los términos de los contratos de concesión forestal para bosques de maderas duras tropicales mixtas como fuente específica de materia prima para una industria de pulpa con el fin de permitir la aplicación del sistema de manejo integral que se ha establecido como el óptimo.
- ### 4. Características específicas en la planificación de plantas para pulpa basadas en maderas duras tropicales mixtas

Dadas las conclusiones anteriores las características específicas de la planificación de una planta para pulpa basada en maderas duras tropicales mixtas son las siguientes:

- i. El inventario del bosque debe incluir la división del área en sectores de composición uniforme e indicar los resultados separadamente para cada sector. Esto establece una base para la planificación futura de la extracción con el fin de reducir a un mínimo las variaciones a largo plazo en la calidad de la pulpa (véase Segunda Parte, Sección 5.3);
- ii. la forma apropiada de extracción - selectiva o casi total - debe ser determinada mediante estudios bien programados efectuados ya en una etapa inicial de la planificación de la planta con el fin de determinar las características de la materia prima en los diferentes sectores de la concesión;
- iii. el tipo de reforestación - plantación de especies exóticas o nativas o regeneración natural - aplicable en el área debe ser estudiada mediante pruebas durante la etapa de planificación;
- iv. también es necesario realizar pruebas con el fin de establecer al menos un sistema tentativo de manejo para el tipo elegido de reforestación;
- v. los términos de la concesión no se deben redactar en su forma final antes de haber preparado un plan completo de explotación para toda el área sobre la base de la accesibilidad a corto y a largo plazo de los distintos sectores considerando la calidad de pulpa que puede obtenerse de cada sector, las posibilidades de mezclar la madera para pulpa de los distintos sectores por etapas con el fin de lograr una calidad uniforme a largo plazo, conocimiento de la modalidad de explotación y tipo de regeneración aplicable en el área.

APENDICE 1

UTILIZACION DE MADERAS DURAS TROPICALES MIXTAS PARA LA PRODUCCION DE PULPA DE PAPEL EN CARTON DE COLOMBIA

Contenido

1. Introducción
2. La compañía
3. Operaciones en el bosque
 - 3.1 Fuentes de materia prima
 - 3.2 Plantaciones
 - 3.3 Regeneración natural
 - 3.4 Construcción de caminos
 - 3.5 Extracción
 - 3.6 Transporte
 - 3.6.1 Dentro del área del bosque
 - 3.6.2 Hasta la planta
4. Operación de la planta para pulpa
 - 4.1 Almacenamiento
 - 4.2 Astillado
 - 4.3 Producción de pulpa
5. Variaciones de la calidad en las pulpas
6. Calidades de papel y de cartón
7. Investigación y desarrollo
8. Conclusiones

UTILIZACION DE MADERAS DURAS TROPICALES MIXTAS PARA LA

PRODUCCION DE PULPA DE PAPEL EN CARTON DE COLOMBIA

1.- Introducción

Hasta la fecha, Cartón de Colombia es la única compañía de América Latina con experiencia en la producción de pulpa de maderas duras tropicales mixtas en escala industrial. La planta de pulpa de la Compañía en Cali ha estado funcionando desde 1963, utilizando aproximadamente 130 especies diferentes de madera en mezcla. La planta para pulpa está integrada con una planta para papel y cartón que produce principalmente calidades industriales de papel y cartón, utilizando un porcentaje considerable de pulpa de madera dura tropical mixta.

2.- La Compañía

La organización de esta compañía, establecida en 1944, es compleja y tiene varias plantas distribuidas como sigue:

<u>Cali</u>	- 1 planta para papel de imprenta y cajas plegables
	- 1 planta para pulpa
	- 1 planta para papel y cartón (4 máquinas)
	- 1 planta para corrugado
	- 1 planta para bolsas de papel
	- 1 planta para envases de fibra
<u>Barranquilla</u>	- 1 planta para pulpa
	- 1 planta para cartón
	- 1 planta para corrugado
	- 1 planta para bolsas de papel
	- 1 planta para envases de fibra
<u>Bogotá</u>	- 1 planta para corrugado
<u>Medellín</u>	- 1 planta para corrugado
<u>Turbo</u>	- 1 planta para corrugado

La producción total de los diversos productos, según se informó en 1972, se indica en el Cuadro 1. Prácticamente todos

estos productos, con excepción de las cajas plegables de cartón, están basados en un porcentaje considerable de pulpa producida en las propias plantas de la compañía, con maderas duras tropicales mixtas, siendo el porcentaje general de 79%, excluyendo las cajas plegables de cartón. Casi toda la producción se consume en el mercado nacional.

Cuadro 1 La producción de pulpa de papel de Cartón de Colombia en 1972

<u>Clase</u>	<u>Producción</u>
Pulpa de fibra corta al sulfato de maderas duras tropicales mixtas	57 200
Pulpa semiquímica de fibra corta de maderas duras tropicales mixtas	28 000
Papel para envolver	34 000
Corrugado medio	34 000
Papel para sacos (incluyendo papel para bolsas)	40 000
Cartón para cajas plegables	38 500

De acuerdo a los planes actuales, la compañía tiene previsto aumentar su capacidad de producción de pulpa en Cali, en 17 000 toneladas anuales (47 t/día) de pulpa al sulfato y en 9 000 t/anuales (25 t/día) de pulpa semiquímica. Originalmente, se esperaba hacer efectivo tal aumento en 1975, y la planta de Barranquilla debía alcanzar un nivel de producción total de 22 000 toneladas anuales al mismo tiempo. Esta información se basa en datos oficiales de 1973.

3. Operaciones en el bosque

3.1 Fuentes de materia prima

El consumo total de maderas duras tropicales mixtas es de

630 ton. diarias, aproximadamente. Cerca de 300 ton. se obtienen de una concesión en la zona de Río Calima, y el resto proviene de zonas a lo largo de los ríos costeros al sur de Buenaventura, o de bosques de propiedad privada. Además de esto, hay una mezcla de 3 - 4% de bambú local y 6 - 10% de Eucaliptus spp. de plantaciones de propiedad privada en la zona de Cali y Bogotá, y el consumo total de madera asciende a unas 700 ton. diarias, aproximadamente.

La Concesión actual en la zona del Río Calima está compuesta de 50 000 hectáreas, de las cuales sólo 26 000 son accesibles económicamente.

Los suelos de la concesión son muy blandos, sin un subsuelo firme, lo que no permite el uso de maquinaria pesada. Por tal motivo, los caminos de transporte y madero se han construido a lo largo de las lomas de las colinas (a unos 100 m de altura sobre el nivel de los valles). La extracción se realiza mediante cables y cabrias desde la orilla del camino. La profundidad máxima de extracción hasta ahora ha sido de 600 m (2 x 300 m), pero mediante el empleo de una cabria japonesa, recientemente adquirida, que permite la extracción hasta 1000 m, se espera aumentar la superficie económicamente accesible de las 26 000 hectáreas actuales a 35 000 hectáreas (véase también sección 3.2.).

La concesión actual contiene unos 200 árboles por hectárea, 130 - 150 especies* en total, con una distribución muy homogénea en toda la zona. En este sentido, las condiciones son ideales, por cuanto el bosque es muy homogéneamente heterogéneo. Se pueden extraer cerca de 100 m³ por hectárea, con una rotación de 30 años.

La nueva Concesión de Río San Juan, que pronto se obtendrá, tiene dos superficies de 70 000 y 100 000 hectáreas respectivamente. Las concesiones en la zona de río San Juan, al norte de la actual, han sido estudiadas mediante foto interpretación, habiéndose realizado además un inventario forestal completo. La de 70 000 hectáreas es muy similar en su composición a la actual, en tanto que la segunda, de 100 000 hectáreas, está formada por 13 tipos diferentes de bosques, distribuidos en varios sectores

* Plan de Ordenación Bajo Calima - Buenaventura 1972.
Plan de Ordenación Forestal Río San Juan, 1973.

dentro de la zona.

La razón de esta gran dispersión de las fuentes de materia prima, hasta una distancia de 500 km, aproximadamente, no está muy clara, pero aparentemente se debe a lo siguiente:

- 1) limitaciones en la explotación anual de la(s) concesión(es) con respecto a las áreas específicamente determinadas por el gobierno.
- 2) Falta de accesibilidad de las áreas de corta final.

3.2 Plantaciones:

Hace unos años se realizaron ensayos de plantación de algunas especies nativas en la concesión de Calima. Aun cuando los resultados eran en sí promisorios, se produjeron alteraciones considerables debido a las semillas de zonas adyacentes y, por consiguiente, los ensayos se interrumpieron. En la actualidad, todas las áreas explotadas en la concesión se dejan a la regeneración natural (véase sección 3.3).

Los ensayos para introducir especies exóticas en la concesión no han dado resultados satisfactorios debido a las condiciones extremadamente difíciles que predominan en la zona.

El suelo orgánico es muy delgado, las precipitaciones anuales alcanzan a 8 000 mm aproximadamente y las plagas de insectos provocan considerables perjuicios. Todas las plantaciones de la compañía están, por consiguiente, limitadas a las tierras altas, principalmente en la región de Popayán, donde se han obtenido resultados alentadores con el Cupressus lusitanica, pinus cocarpa, pinus kesiya y pinus patula. Respecto a la especie Eucalyptus spp. los mejores resultados se han obtenido con la variedad Eucalyptus grandis y E. robusta, que plantan especialmente los propietarios privados de la región de Cali, a una altura de 1 000 m aproximadamente, utilizando las plántulas y la asistencia técnica suministradas por la compañía.

3.3 Regeneración Natural

La regeneración natural en la Concesión de Calima es sumamente eficiente. Un estudio de 8 de las especies más comunes ha demostrado que antes de la corta final de una zona, habían 180 árboles de estas especies por hectárea, con un diámetro promedio de 30 cm. Con la regeneración natural, 14 años

después de la corta final, habían 2000 árboles de las mismas especies por hectárea, con un diámetro promedio de 12 cm. Aunque estos resultados son alentadores, también existen problemas, principalmente de dos tipos: problemas de manejo de la regeneración y problemas sociales. Respecto a los problemas de manejo, no se cuenta con conocimientos suficientes sobre cómo controlar la regeneración en cuanto a raleos, eliminación de especies indeseables y mantención de las condiciones de crecimiento originalmente favorables.

El problema social se refiere a la ocupación ilegal de terrenos y a los cultivadores migratorios que se trasladan a una determinada zona una vez que se han construido los caminos, cortando árboles para obtener postes para construcción, preferentemente en áreas de regeneración, donde el diámetro de los árboles es apto para obtener este tipo de madera. (Generalmente entre 10 - 15 cm).

3.4 Construcción de caminos

Debido a la total falta de un subsuelo con capacidad de carga suficiente en la concesión de Río Calima, la construcción de caminos es lenta y tediosa. Todos los caminos deben construirse en las partes altas de las colinas, donde es posible asegurar un drenaje apropiado. La precipitación anual es de 8000 mm.

La construcción de caminos está a cargo de diversos contratistas que deben ceñirse a especificaciones en cuanto al ancho, número de zonas de viraje, calidad de la madera empleada para conformar la base del camino, etc.

Generalmente se utiliza una capa doble de postes, pero en el caso de caminos de menor importancia se estima suficiente con una sola capa, a excepción de aquellas partes donde el suelo es sumamente blando. En este caso, es menester seleccionar tractores con buenas propiedades de flotación.

3.5 Extracción

La extracción de madera se realiza en tres etapas principales:

- 1) Extracción manual hasta una profundidad máxima de 100 m, comenzando desde el borde del camino.
- 2) Extracción mediante cables, primeramente hasta una

profundidad de 300 metros, seguida por la instalación de otra cabría para otros 300 m.

- 3) Extracción mediante la cabría de fabricación japonesa, que permite llegar hasta una profundidad de 1 km.

La compañía posee 20 cabrias para trabajos de extracción hasta 300 m de profundidad cada una, y una cabría que alcanza a 1 km.

Se extraen prácticamente todas las especies; las únicas que se dejan son las palmas, los árboles con un alto contenido de latex, los árboles difíciles de descortezar y algunas especies sumamente duras. Las trozas de aproximadamente 30% de las especies extraídas, no flotan, lo que presenta problemas en aquellos lugares en que la extracción se realiza desde un río.

La tala de los árboles y la corta de las ramas se hace manualmente con hachas, en tanto que la corta se realiza con sierras continuas. Las trozas con un diámetro superior a 40 cm se parten con hachas o con cuñas y martillos metálicos. El descortezado se efectúa a menudo manualmente con machetes, tajando la corteza en vez de rebanarla, a raíz de lo cual el descortezado resulta muy deficiente. En promedio, la madera queda descortezada en aproximadamente un 70%.

3.6 Transporte

3.6.1. Dentro del área del bosque

La madera generalmente es recogida directamente en la orilla del camino, en el lugar de extracción, por camiones que la llevan hasta la planta. Sin embargo, también hay algunos depósitos de concentración, que se utilizan cuando se hace la primera recolección con tractores o a lo largo de los ríos, en canoas motorizadas o en balsas. También existe un depósito de concentración en la costa, para la madera que es transportada en canoas desde los ríos y a lo largo de la costa.

3.6.2. Hasta la planta

Todo el transporte hasta la planta se efectúa con camiones. No obstante, debido al sistema que se aplica, el período de almacenamiento de las trozas en el bosque varía entre una semana y dos meses. La Compañía no posee sus propios camiones, pero tiene contratos con varias firmas de transporte o con camioneros particulares.

4. Operación de la planta para pulpa

4.1 Almacenamiento de la madera en la planta

Bajo condiciones normales de operación, la planta tiene un almacenamiento de madera para 1,5 meses. Algunos de los camiones descargan su madera directamente a las líneas de astillado y otros en el patio de apilado. La planta está tratando de establecer un sistema de rotación del inventario con su propio equipo de transporte interno.

4.2 Astillado

La planta posee dos líneas de astillado, con un solo soplador de astillas hacia las pilas de astillas. Los ángulos de los cuchillos de las astilladoras son de 24° y 21°. En la actualidad, se están empleando cuatro marcas diferentes de cuchillos en las astilladoras: una alemana, una japonesa y dos norteamericanas. Aun cuando existen diferencias de calidad entre las distintas marcas de cuchillo, se ha establecido que, en general, el costo del astillado por tonelada, tomando en cuenta el precio de los cuchillos y su mantención, es igual para todas las marcas. Con un consumo de 700 ton de madera diarias, es preciso afilar los cuchillos de una astilladora después de astillar 45 toneladas, y efectuar cambio de cuchillos cada 3 horas por cada astilladora.

En teoría, la planta se propone tener dos pilas de astillas con 5 000 tons en cada una, lo que corresponde a un período total de almacenamiento de astillas de dos semanas.

Después del astillado, las astillas se depuran para extraer los pedazos grandes de madera y las astillas de ambas astilladoras son sopladas hacia la misma pila.

La pila de astillas se nivela con una oruga y la alimentación hacia la planta de pulpa generalmente se efectúa extrayendo las astillas de un costado de la pila mediante un cargador frontal, que las coloca en un alimentador giratorio y de allí a una cinta transportadora. De este modo, se logra la mezcla apropiada de las astillas. Hay sólo un sistema de alimentación a la planta.

Se está adquiriendo equipo adicional para separar las dos líneas astilladoras y permitir el levantamiento de un total de cuatro pilas, con sistema independiente de alimentación a las plantas de pulpa química y semiquímica. Este sistema resulta muy versátil en la utilización de las diferentes materias primas.

4.3 Producción de pulpa

Los procesos para producir pulpa utilizados en la planta son el proceso al sulfato de alto rendimiento (Kappa N° aproximado 50) para la pulpa química, y un proceso de soda sulfuro para la pulpa semiquímica. Una descripción de la planta, conjuntamente con registros que indican el flujo del material, aparecen en:

P. Cárdenas: "Practical Experiences on PULPING Mixed Tropical Hardwoods" (Experiencias prácticas sobre la producción de pulpas de maderas duras tropicales mixtas).

Expert Group Meeting on Pulp and Paper (Unido) (Reunión del Grupo de Expertos sobre Pulpa y Papel (Onudi)).

Viena, 13-17 Septiembre, 1971
Documento ID/WG 102/21, 22 Julio 1971

y, por lo tanto, se hace referencia al citado documento para mayor información.

5. Variaciones de la calidad en las pulpas

Hasta el momento, la compañía no ha experimentado problemas serios con las variaciones a largo plazo en la calidad de la pulpa, debido a la índole homogéneamente heterogénea de las actuales fuentes de madera para pulpa. No obstante, este problema podría acentuarse en el futuro, cuando comiencen a utilizarse las nuevas concesiones en Río San Juan. En cambio, las variaciones a corto plazo siguen siendo mayores que en las clases de pulpa del mercado internacional.

6. Calidades de papel y de cartón

Las calidades de papel y de cartón que se producen son principalmente las siguientes:

- cartón para cajas plegables
- "Test liner board"
- Corrugado medio

- Papel Kraft
- Papel para sacos (clupak)

El cartón para cajas plegables que se produce no contiene pulpa de maderas duras tropicales mixtas. En cuanto a las otras clases de papel y cartón, sus componentes son pulpa importada de fibra larga al sulfato, papel de desecho y pulpa de maderas duras tropicales mixtas. Esta última alcanza hasta el 80%, dependiendo de la clase y calidad que se desea obtener.

La calidad de los productos es satisfactoria para su consumo en el país en la fabricación de cajas para plátanos (se han desarrollado características adecuadas para su apilamiento) e inclusive para sacos de cemento y azúcar. Por lo tanto, puede darse por sentado que es posible producir papeles y cartones industriales de calidad adecuada con un porcentaje considerable de pulpa de madera dura tropical mixta. (2).

7. Investigación y Desarrollo

La compañía está bien equipada para realizar pruebas de laboratorio de sus productos y también cuenta con el personal adecuado para hacer frente a las demandas de dicha operación. En vista de la naturaleza de la materia prima que se utiliza, gran parte de las investigaciones están dirigidas a la dasonomía y a la selección de especies exóticas aptas para ser plantadas en las tierras altas. Hacia fines de 1973, Cartón de Colombia había plantado 1 600 ha con Cupressus lusitanica y pinos, y cerca de 20 ha con Eucalyptus spp.

Para cada nueva fuente de materia prima que será utilizada por la compañía, se realiza un inventario forestal, con el fin de determinar la naturaleza de la materia prima disponible.

En la actualidad, la compañía tiene ciertas limitaciones en cuanto a equipo apto para ensayos de laboratorio de su materia prima maderera. No obstante, ha sido posible hacer ensayos con las características de lejiación de varias especies individuales. En 1975 se habrá ampliado el laboratorio y se habrán adquirido otros equipos, con el fin de realizar diferentes programas de investigación que enlacen la dasonomía con la planta de pulpa.

(2) C.H. Gómez e I. Mondragón, TAPPI 57(5) Mayo 1974. Páginas 140-142.

8. Conclusiones

El principal problema de Cartón de Colombia en la actualidad, no es tanto de índole técnico, en el sentido de que no se relaciona con los procesos de lejiación y producción de papel propiamente tales, sino mas bien con la fuente de materia prima en que se utiliza. En primer término, está la dificultad de asegurar un flujo controlado y adecuado de madera para pulpa hacia la planta, a pesar de la riqueza de los recursos de los bosques de la costa, aparentemente debido a la inaccesibilidad de las áreas para su explotación. En segundo término, está el problema del manejo de la regeneración natural del bosque de madera dura tropical.

En lo que respecta a la operación de la planta de pulpa y papel, Cartón de Colombia ha probado que es factible producir clases industriales de papel y cartón con un porcentaje considerable de pulpa de madera dura tropical mixta en la mezcla.

APENDICE 2

EVALUACION ESTADISTICA DE LAS POSIBILIDADES DE CONTROLAR LA UNIFORMIDAD DE LA CALIDAD DE LA PULPA MEDIANTE COMBINACIONES DE UNIDADES DE MADREO DE CARACTERISTICAS CONOCIDAS

Contenido

Extracto

1. Introducción
2. Esquemas del principio en estudio
3. Antecedentes matemáticos para el tratamiento estadístico de datos para una evaluación
 - 3.1 Ecuaciones básicas
 - 3.2 Evaluación estadística de las unidades dentro de un sector
 - 3.2.1 Consideraciones básicas
 - 3.2.2 Variancia total de las unidades en un sector
 - 3.3 Combinación de unidades de distintos sectores
 - 3.3.1 General
 - 3.3.2 Inventario completo y datos disponibles sobre fabricación de papel para cada unidad
 - 3.3.3 Promedio y variancia estimada para cada unidad de las unidades de muestreo
 - 3.3.4 Análisis de la variancia para el lote combinado
4. Evaluación del principio
 - 4.1 General
 - 4.2 La matriz experimental
 - 4.3 Disponibilidad de datos completos de inventario y producción de papel para cada unidad
 - 4.4 Datos de inventarios y producción de papel para unidades estimados sobre la base de los resultados de unidades de muestreo
 - 4.5 Posibilidades de mejorar la precisión
5. Influencia del tamaño de la unidad
6. Influencia del almacenamiento y mezclas adicionales
7. Conclusiones

EVALUACION ESTADISTICA DE LAS POSIBILIDADES DE CONTROLAR LA
UNIFORMIDAD DE LA CALIDAD DE LA PULPA MEDIANTE COMBINACIONES
DE UNIDADES DE MADEREO DE CARACTERISTICAS CONOCIDAS

Extracto

Sobre la base de distribuciones hipotéticas de clases de largo de ruptura de la pulpa obtenida de madera para pulpa aceptable en la zona de madereo, se ha realizado un estudio de las posibilidades para nivelar las variaciones en la calidad de la pulpa combinando unidades de madereo de composición conocida o estimada. Los cálculos se basan en 64 distribuciones, 8 sectores con 8 unidades cada uno. Mediante la combinación de sectores se han obtenido otras distribuciones para abarcar condiciones diferentes, y la influencia de las distintas características de las unidades y/o los sectores ha sido estudiada, expresando el resultado final como largo de ruptura promedio y límites de confiabilidad del promedio.

El método ha resultado útil, bajo condiciones controladas se logra una precisión de aproximadamente 0,4 km en lugar de 1,0 km que comunmente obtienen las plantas que utilizan maderas duras tropicales mixtas. Si se dispone de datos completos de inventario y producción de papel para cada unidad, puede lograrse una precisión de 0,2 km o menos.

Además de algunas consideraciones respecto a un mayor mejoramiento en la precisión, el informe incluye antecedentes matemáticos del método, tales como el número de unidades de muestra necesarias para una estimación óptima de los datos de las unidades dentro de un sector, una discusión general sobre la influencia del tamaño de la unidad, el número óptimo de unidades que deben conformar un lote combinado (4 - 8) y también subraya la importancia de hacer aún mas mezclas con los lotes combinados en relación con el almacenamiento de trozas y en especial de astillas.

EVALUACION ESTADISTICA DE LAS POSIBILIDADES DE CONTROLAR LA
UNIFORMIDAD DE LA CALIDAD DE LA PULPA MEDIANTE COMBINACIONES
DE UNIDADES DE MADEREO DE CARACTERISTICAS CONOCIDAS

1. Introducción

Uno de los principales problemas técnicos en la producción de pulpa de maderas duras tropicales mixtas es la falta de homogeneidad del material utilizado y en consecuencia de ello, las variaciones en la calidad de la pulpa. Para evitar esto, se han hecho esfuerzos para lograr una combinación homogénea mediante el almacenamiento de trozas y astillas en "zonas de amortiguación" con vistas a nivelar las variaciones de calidad. Esto da origen a exigencias con respecto al tamaño de los depósitos para trozas y con el fin de asegurar una buena mezcla, se requieren varias líneas paralelas de astillado para alimentar una misma pila de astillas al mismo tiempo. El almacenamiento bajo condiciones tropicales también presenta problemas debido al deterioro de la madera y de la pérdida de materia prima. Sin embargo, esto último tal vez no sea tan grave como parecerían indicarlo los resultados obtenidos sobre almacenamiento de astillas sin una producción subsiguiente de pulpa, ya que la pérdida de materia prima durante el almacenamiento se compensa en muchos casos con un mayor rendimiento de pulpa, basado en la calidad de la madera alimentada al digestor. De esta manera el rendimiento general de pulpa a menudo permanece constante, con almacenamiento o sin él.

No cabe duda de que se requieren zonas de amortiguación; la principal interrogante se refiere a su tamaño y a la forma en que deben establecerse - árboles, trozas, astillas o pulpa - y la combinación más económica de las distintas formas. La forma más económica de zona de amortiguación son los árboles en pie en el bosque. El presente estudio trata las posibilidades de utilizar este tipo de amortiguación en forma eficaz.

2. Esquemas del principio en estudio

El punto de partida del presente principio para la eliminación de variaciones en la calidad de la pulpa es la toma de muestras durante la etapa del inventario forestal de cada una de las especies en el área o, si las condiciones de crecimiento dentro del área varían para la misma especie, muestras de cada

de las especies en cuestión. Estas muestras se someten a estudios individuales de producción de pulpa y papel, eliminando aquellas especies que no se pueden utilizar para la producción de pulpa. Tanto las pruebas de producción de pulpa como de papel se realizan bajo condiciones idénticas, utilizando la misma carga química, temperatura y tiempo de cocción, así como el mismo número de revoluciones en el refinamiento, etc. Entre tanto continúa el inventario forestal y el área se divide en dos sectores dentro de los cuales la composición del bosque con respecto a las especies es similar, indicando el volumen obtenible de cada especie en cada sector. Sobre la base de estos datos y de aquellos de las pruebas de producción de pulpa y papel, se agrupan las especies en clases de calidad con igual espaciamento con respecto a cada propiedad de interés. La figura 1 da un ejemplo de esto, indicando la frecuencia - basada en el tonelaje disponible en un sector - como función de las distintas clases de calidad. En este caso, la "calidad" se define mediante el largo de ruptura.

El promedio de la propiedad se calcula para cada sector y esto se puede comprobar y corregir produciendo pulpa con muestras de mezclas representativas de cada sector en una escala levemente superior - por ejemplo en digestores de 30 litros - y comparando los resultados. De esta manera se evita una conclusión errónea debido al hecho de que las características para la fabricación de pulpa y papel de las especies individuales no son estrictamente aditivas.

Después de esto, la característica común en alternativas subsiguientes es que cada sector se subdivide en unidades de maderero de un tamaño predeterminado dependiendo del consumo de madera en la planta así como del tonelaje disponible por unidad y calidad deseada se obtiene mediante una combinación apropiada de varias unidades de diferentes sectores. Dependiendo del tamaño de los sectores puede ser necesario en algunos casos hacer uso de varias unidades del mismo sector, especialmente si algunos de los sectores son más pequeños que los otros. No es necesario, sin embargo, tomar unidades de todos los sectores; en efecto, esto aún podría ser imposible durante la estación lluviosa.

Con relación al número de unidades que se tomarían, probablemente lo óptimo sería entre 4 y 8, por cuanto un número superior originaría problemas con el equipo, lo que exigiría mayores inversiones de capital y también mayores gastos en mano de obra.

De acuerdo al principio aquí bosquejado, el bosque mismo se utiliza como una zona de amortiguación para las variaciones en la calidad. Si bien seguirán necesitándose zonas de amortiguación en la forma de trozas y astillas, probablemente se reduzcan considerablemente. El éxito y la factibilidad del principio depende en gran medida de las variaciones en las propiedades interesantes dentro de

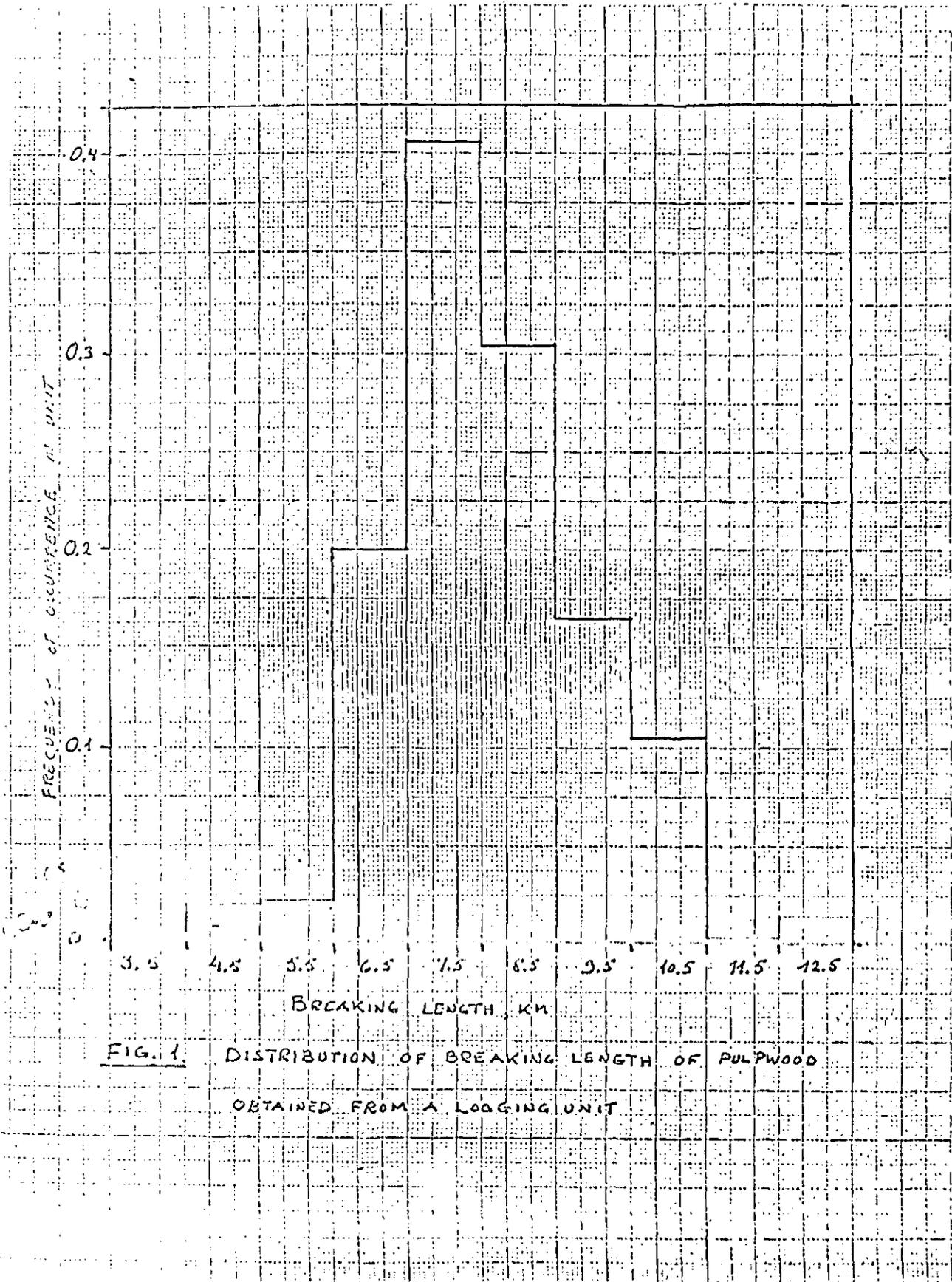


FIG. 1. DISTRIBUTION OF BREAKING LENGTH OF PULPWOOD
OBTAINED FROM A LOGGING UNIT

los sectores y las posibilidades de eliminar estas fuentes de variación en la calidad de la pulpa. La realización de un inventario en cada unidad dentro de cada sector resolvería el problema, pero probablemente esto no resultará factible, ya que exigiría una continua actualización de los datos de los inventarios forestales, a medida que los árboles crecen y se multiplican. Aun cuando no se puede encontrar una solución global para estos problemas la siguiente proposición constituye una tentativa de estudiar las posibilidades de aplicar este principio con el fin de nivelar las variaciones en la calidad de la pulpa y para señalar formas alternativas para lograr resultados óptimos en diferentes casos, dependiendo de ciertas características de la superficie forestal.

3. Antecedentes matemáticos para el tratamiento estadístico de datos para una evaluación

3.1 Ecuaciones básicas

Si el tonelaje de madera proveniente de una unidad que rinde una clase x_i en calidad se designa como t_i y el tonelaje total de la madera para pulpa de esa unidad como t_j , las siguientes ecuaciones forman el punto de partida para el tratamiento estadístico:

$$t_j = \sum_i t_i \quad \text{y} \quad p_i = t_i/t_j$$

donde p_i equivale a la frecuencia de ocurrencia de madera de clase x_i en calidad en la unidad.

La calidad promedio con respecto a una propiedad para unidad por lo tanto, es la siguiente

$$X_j = \sum_i p_i x_i \quad (1)$$

y su variación

$$s_{io}^2 = \frac{m_j \sum_1^i p_i (x_i - x_j)^2}{m_j - 1} \quad (2)$$

Donde m_j representa el número de especies en la unidad.

3.2 Evaluación estadística de las unidades dentro de un sector

3.2.1 Consideraciones básicas

Para la evaluación de las características de las unidades dentro de un sector, se forman las siguientes sumas de cuadrados corregidas:

$$SSD_{1j} = k \sum_1^j p_j m_j \sum_1^i p_i (s_i - x_j)^2 - k \sum_1^j p_j (m_j - 1) s_{io}^2 \quad (3)$$

$$SSD_{2j} = k \sum_1^j p_j m_j (x_j - \bar{x}_j)^2 \quad (4)$$

$$SSD_j = SSD_{1j} + SSD_{2j} \quad (5)$$

En las que K representa el número de unidades siendo evaluadas dentro del sector p_j se define con la siguiente fórmula

$$p_j = t_j / t_k \quad \text{and} \quad t_k = \sum_1^j t_j$$

en la que t_j representa el tonelaje de madera para pulpa obtenible de la unidad j :th y t_k representa el tonelaje total de madera para pulpa obtenible de las unidades en evaluación x_j es el promedio de la propiedad que expresa la calidad de la pulpa para todas las unidades representadas por

$$\bar{x}_j = \sum_1^j p_j x_j \quad (6)$$

Si el tonelaje obtenible de una unidad es igual, las ecuaciones se reducen a las siguientes:

$$SSD'_{1j} = \sum_1^j m_j \sum_1^i p_i (x_i - x_j)^2 = \sum_1^j (m_j - 1) s_{io}^2 \quad (3a)$$

$$SSD'_{2j} = \sum_1^j m_j (x_j - \bar{x}_j)^2 \quad (4a)$$

$$SSD' = SSD'_{1j} + SSD'_{2j} \quad (5a)$$

Estas sumas de cuadrados se utilizan para la evaluación estadística de las características de las unidades mediante análisis de variancia, formando las variancias según se indica en el cuadro 1, donde m_j se define como sigue:

$$\bar{m}_j = \frac{1}{k-1} \left(\sum_1^j m_j - \frac{\sum_1^j m_j^2}{\sum_1^j m_j} \right) \quad (7)$$

Cuadro 1 Análisis de variancia para la evaluación de unidades dentro de un sector

Variancia	Suma de cuadros	f*)	Variancia	Estimación
Dentro de unidades	SSD_{2j} o SSD'_{2j}	$k - 1$	s_{2j}^2	$\sigma_{jo}^2 + \bar{m}_j \frac{2}{k}$
Dentro de unidades	SSD_{1j} o SSD'_{1j}	$\sum_1^j m_j - k$	s_{1j}^2	σ_{jo}^2
Total	SSD_j o SSD'_j	$\sum_1^j m_j - 1$		

* f = número de grados de libertad

Si los valores de m_j no difieren en mucho entre las distintas unidades, \bar{m}_j toma el valor representado por

$$\bar{m}_j = \frac{1}{k} \sum_1^j m_j \quad (8)$$

Desde luego si todos los valores m_j son iguales, la expresión resulta exacta.

Para su evaluación, la razón de la variancia s_{2j}^2/s_{1j}^2 se forma y se prueba estadísticamente para determinar su significación. Si la razón no es muy superior a uno, todas las unidades pertenecen a la misma población con el mismo promedio. En el caso de σ_{jo}^2 igual a cero y la variancia para todas las unidades dentro del sector se puede calcular de los totales en el cuadro 1. En forma similar, el promedio es igual para todas las unidades. Por otra parte, si la razón de variancia es significativamente mayor a uno, las unidades dentro del sector no pertenecen a la misma población y tienen promedios diferentes. Para reducir el total de la variancia entre las unidades, es necesario reordenar las unidades y tal vez subdividir el sector en varios sectores.

Sin embargo, si se mantiene el sector como tal, el tratamiento matemático adicional basado en los resultados de las unidades de muestreo se lleva a cabo más convenientemente mediante el uso de una ecuación aproximada

$$\frac{s_{jk}^2}{k} = \frac{\sum_1^i (x_j - \bar{x}_j)^2}{k(k-1)} \approx \frac{k s_{jo}^2}{\sum_1^j m_j} + \frac{s_k^2}{k} \quad (9)$$

Para expresar la variancia del promedio de las unidades de muestra de los sectores. De acuerdo con esto la variancia de x_j se da por s_{jk}^2 . La utilidad de esta ecuación será descrita más adelante en la sección 3.2.2.

$$s_{jk}^2 = \frac{k^2 s_{jo}^2}{\sum_1^j m_j} \quad (9a)$$

3.2.2 Variancia total de las unidades en un sector

Para poder estimar la precisión de un promedio obtenido mediante la combinación de varias unidades de distintos sectores, es necesario conocer la variancia total de cada unidad. Si se dispone de datos de inventario y características para la fabricación de pulpa para cada unidad en el bosque, la variancia total de la unidad se indica como sigue s_{io}^2 en la ecuación (2). Por otra parte, si se dispone de datos solamente para unidades de muestreo dentro de un sector, el promedio y la variancia total de las unidades dentro de aquel sector deben estimarse en base a los datos de las unidades de muestreo. Si no existe variación en el número de especies en una unidad m_j , ni en el tonelaje de madera para pulpa obtenible de ella, t_j , las estimaciones de

la variancia promedia y total se obtienen de acuerdo con lo descrito en la sección 3.2.1. Sin embargo, este es un ideal que casi nunca puede observarse bajo condiciones prácticas. De acuerdo con ello, la influencia de estas fuentes de variación debe ser tomada en cuenta, incluyendo sus dos variancias como tales y las covariancias, en caso que las segundas sean significativas. Por lo tanto, la variancia total de una unidad

$$s_u^2 = s_{jk}^2 + s_{jt}^2 + s_{jm}^2 + 2s_{tx} + 2s_{mx} \quad (10)$$

Donde s_u^2 es el total de la variancia, s_{jk}^2 se indica con la ecuación (9) y es igual a $s_{i_0}^2$ si s_k^2 es igual a cero (véase sección 3.2.1.). s_{jt}^2 es la variancia debida a la variación en tonelaje entre unidades de muestreo dentro de un sector y se indica por

$$s_{jt}^2 = \frac{\sum_1^j (t_j - \bar{t}_j)^2}{\bar{x}_j^2} \quad (11)$$

$$\bar{t}_j^2 (k - 1)$$

Donde t_j es el tonelaje de una unidad de muestra individual y \bar{t}_j es el promedio de todas las unidades de muestra dentro de un sector.

s_{jm}^2 es la variancia debida a la variación en el número de especies entre las unidades de muestra y se define por

$$s_{jm}^2 = \frac{\sum_1^j (m_j - \bar{m}_j)^2}{\bar{x}_j^2} \quad (12)$$

$$\bar{m}_j^2 (k - 1)$$

Donde \bar{m}_j es el promedio del número de especies de todas las unidades de muestreo dentro del sector. s_{tx} y s_{mx} son las covariancias t_j y m_j , respectivamente, sobre x_j y expresadas mediante las siguientes ecuaciones

$$s_{mx} = \frac{\sum_1^j (m_j - \bar{m}_j)(x_j - \bar{x}_j)}{\bar{m}_j(k-1)} \quad (13)$$

$$s_{tx} = \frac{\sum_1^j (t_j - \bar{t}_j)(x_j - \bar{x}_j)}{\bar{t}_j(k-1)} \quad (14)$$

Si todas las unidades dentro de un sector pertenecen a una misma población con el mismo promedio, s_{jk}^2 el valor dado por la ecuación (9a) y se puede suponer que ambas covariancias son iguales a cero, es decir, las fuentes de variancia son todas independientes. En este caso la variancia total de una unidad en un sector, estimada de las variancias de las unidades de muestreo es

$$s_u^2 = \frac{k^2 \sum_1^j s_{jo}^2}{\sum_1^j m_j} + s_{jt}^2 + s_{jm}^2 \quad (10a)$$

3.3 Combinación de unidades de distintos sectores

3.3.1 General

El tratamiento matemático de las combinaciones de unidades de distintos sectores depende en gran medida de las propiedades estadísticas de las unidades mismas. De este modo, cada caso debe ser tratado separadamente, usando ecuaciones levemente distintas para llegar a la estimación final de la precisión del promedio de las unidades combinadas.

3.3.2 Inventario completo y datos disponibles sobre fabricación de papel para cada unidad

Si se dispone de datos completos de inventario así como sobre

la fabricación de pulpa y papel para cada unidad en todos los sectores, la única fuente de variación es la diferencia en la composición entre las unidades que se utilicen en los distintos sectores para formar el lote combinado. Para llegar a la variancia total del lote combinado, se forman las siguientes sumas de cuadros corregidas:

$$SSD_1 = n \sum_1^n (m_n - 1) s_{on}^2 p_n \quad (15)$$

$$SSD_2 = n \sum_1^n m_n (x_n - \bar{x}_n)^2 p_n \quad (16)$$

$$SSD = SSD_1 + SSD_2$$

Donde n es el número de unidades que se han tomado para formar el lote combinado, m_n el número de especies que pueden ser utilizadas para madera para pulpa en cada unidad, x_n la propiedad para la producción de papel de la unidad y \bar{x}_n el promedio para el lote, dado por

$$\bar{x}_n = \sum_1^n p_n x_n \quad (17)$$

y p_n se define por

$$p_n = t_j / t_n \quad \text{y} \quad t_n = \sum_1^n t_j$$

donde t_j es el tonelaje de madera para pulpa disponible en una unidad. s_{on}^2 se calcula exactamente en la misma forma que s_{io}^2 (véase Sección 3.1, ecuación (2)), y es la variancia de la propiedad para producción de papel de la unidad.

La variancia total del lote combinado se obtiene como sigue

$$s_{xn}^2 = \frac{SSD}{\sum_1^n m_n - 1} \quad (18)$$

y los límites de confianza del promedio a una probabilidad del 95%

$$e = 1.96 \sqrt{\frac{s_{xn}^2}{\sum_{1}^n m_n}} \quad (19)$$

3.3.3 Promedio y variancia estimada para cada unidad de las unidades de muestreo

Si el promedio y la variancia de una unidad dentro de un sector se estima en base a unidades de muestreo del mismo sector es necesario aplicar un enfoque levemente distinto para llegar a una estimación de los límites de confianza de una combinación de unidades de diferentes sectores. En este caso las sumas corregidas de cuadrados son

$$SSD_1 = n \sum_{1}^n (k_n - 1) s_{un}^2 p_n \quad (20)$$

$$SSD_2 = n \sum_{1}^n k_n (x_n - \bar{x}_n)^2 p_n \quad (21)$$

$$SSD = SSD_1 + SSD_2 \quad (22)$$

donde k_n es el número de unidades de muestreo estudiadas en cada sector para estimar la variancia de las unidades dentro de él. s_{un}^2 es la variancia s_u^2 para la unidad n que se define por la ecuación (10). Sin embargo, ya que el número de especies de una unidad no entra en las ecuaciones anteriores, esta fuente de variación puede desestimarse y la ecuación (10) se reduce a

$$s_{un}^2 = s_{jk}^2 + s_{jt}^2 + 2s_{tx} \quad (10b)$$

La variancia total del lote combinado se obtiene de la siguiente ecuación

$$s_{xn}^2 = \frac{SSD}{\sum_{1}^n k_n - 1} \quad (23)$$

o, suponiendo que todos los valores k_n son iguales

$$s_{xn}^2 = \frac{SSD}{nk_n - 1} \quad (23a)$$

Si el producto nk_n , o, si los valores k_n no son iguales en los diferentes sectores, la suma de todos los valores k_n , es inferior a 25, es aconsejable utilizar una t de estudiante para el nivel de probabilidad del 95% y los grados de libertad $nk_n - 1$ en lugar del valor de una distribución normal, 1.96, para el cálculo de los límites de confianza del promedio del lote combinado. Por lo tanto, los límites de confianza se obtienen como sigue

$$e_x = t_f \sqrt{\frac{s_{xn}^2}{n}} \quad (24)$$

donde t_f es la t de estudiante para el número de grados de libertad dados por el denominador en la ecuación (23) o (23a).

3.3.4 Análisis de la variancia para el lote combinado

Puede ser de interés realizar un análisis de variancia para el lote combinado en el caso en que el promedio y la variancia de una unidad han sido estimados en base a unidades de muestreo. Un análisis como éste se realiza utilizando sumas de cuadrados corregidas dadas por las ecuaciones (20-22). En el cuadro 2 se incluye un resumen del procedimiento.

Cuadro 2 Análisis de variancia de un lote combinado

Variancia	Suma de cuadrado	f	Variancia	Estimación
Entre sectores	SSD ₂ (21)	n - 1	s ² _{sxn}	$\sigma^2_{\text{oxn}} + k_n \sigma_s^2$
Dentro de sectores	SSD ₁ (20)	n(k _n - 1)	s ² _{oxn}	σ^2_{oxn}
Total	SSD (22)	nk _n - 1		

En el Cuadro 2 se supone que el valor de k_n es igual en todos los sectores.

4. Evaluación del principio

4.1 General

La prueba ideal para el principio sería la de aplicarlo en un área boscosa real en el campo, utilizando el inventario y otros datos disponibles. Sin embargo, dado que hasta la fecha los inventarios forestales y los estudios para la fabricación de pulpa y papel no han sido hechos tomando esto en cuenta, todos los datos disponibles son incompletos. Por tal motivo, se ha escogido otro enfoque que es el tratar de estudiar el principio en general, abarcando varios tipos diversos de bosque que puedan encontrarse, sobre la base de tipos hipotéticos de bosques formados con conocimientos prácticos de lo que puede encontrarse en el terreno. Aunque los resultados no son aplicables a ningún área forestal específica, son útiles, ya que pueden servir como medio para mejorar la precisión con un bosque dado y proporcionar datos para comparaciones con aquellos obtenidos en los bosques reales. También proporciona criterios para la precisión que pueda obtenerse bajo diferentes condiciones.

Aunque se requieren varias características para la definición de la calidad de una pulpa, sólo una, el largo de ruptura, ha sido escogida para este estudio. Se sabe por experiencia que las variaciones por ejemplo en el factor de rasgado y el factor de reventamiento de una pulpa hecha con maderas duras tropicales mixtas son iguales que aquél para el largo de ruptura, cuando se

expresa como porcentaje. La variación en el grado de separación de la lignina (Kappa o índice de cloro) generalmente es más reducida. Sin embargo, dado que la inclusión en el presente estudio de varias otras características aumentaría inmensamente la cantidad de cálculos sin un aumento correspondiente en la cantidad de información que se obtendrá de ellos, se consideró suficiente estudiar únicamente el largo de ruptura.

Cuadro 3 La matriz experimental

e c t o r e s	U N I D A D E S							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Largo de ruptura, Km	7.558	7.673	7.711	7.595	7.458	7.698	7.785	7.782
Límites de confianza, Km	0.282	0.321	0.300	0.253	0.125	0.294	0.427	0.418
Variancia, km ²	1.547	1.422	1.126	1.469	1.221	1.309	1.812	1.808
Número de especies	75	53	48	89	72	58	38	40
Tonelaje de madera para pulpa	186	174	272	255	260	106	81	66
Largo de ruptura, Km	7.151	7.218	7.000	7.101	7.342	7.101	7.065	7.032
Límites de confianza, Km	0.341	0.427	0.386	0.335	0.321	0.435	0.498	0.549
Variancia, km ²	2.278	2.533	2.407	2.493	2.150	2.471	2.695	2.978
Número de especies	75	53	62	85	80	50	42	38
Tonelaje de madera para pulpa	126	118	184	173	177	72	55	45
Largo de ruptura, Km	9.243	9.199	9.365	9.314	9.173	9.126	9.114	8.996
Límites de confianza, Km	0.276	0.302	0.133	0.274	0.251	0.347	0.419	0.465
Variancia, km ²	1.631	1.500	1.584	1.529	1.355	1.926	1.825	2.352
Número de especies	82	63	90	78	82	62	40	42
Tonelaje de madera para pulpa	80	74	116	109	112	46	35	28
Largo de ruptura, Km	6.623	6.502	6.670	6.556	6.442	6.692	6.684	6.851
Límites de confianza, Km	0.306	0.292	0.268	0.272	0.288	0.415	0.412	0.529
Variancia, km ²	1.891	1.600	1.599	1.514	1.618	2.422	1.976	2.909
Número de especies	78	72	85	78	75	54	45	40
Tonelaje de madera para pulpa	109	102	159	149	153	62	48	39

(continuado)

Cuadro 3 La matriz experimental (continuado)

S e c t o r e s	U N I D A D E S							
	1	2	3	4	5	6	7	8
5. Largo de ruptura, Km	8.404	8.240	8.251	8.298	8.463	8.373	8.146	8.284
Límites de confianza, Km	0.241	0.278	0.269	0.245	0.229	0.306	0.372	0.431
Variancia, km ²	1.286	1.208	1.314	1.399	1.099	1.268	1.447	1.692
Número de especies	85	60	70	90	80	52	40	35
Tonelaje de madera para pulpa	192	179	279	262	268	109	84	68
6. Largo de ruptura, Km	5.856	5.936	5.879	5.942	5.758	5.775	5.984	5.882
Límites de confianza, Km	0.304	0.308	0.249	0.298	0.278	0.298	0.415	0.451
Variancia, km ²	1.681	1.608	1.420	1.894	1.424	1.319	1.897	1.851
Número de especies	70	65	88	82	70	57	42	35
Tonelaje de madera para pulpa	106	98	153	144	147	60	46	37
7. Largo de ruptura, Km	8.113	8.092	7.872	7.797	8.177	7.871	7.986	7.694
Límites de confianza, Km	0.343	0.406	0.372	0.361	0.341	0.437	0.476	0.694
Variancia, km ²	2.420	2.438	2.444	2.697	2.409	2.674	2.364	4.395
Número de especies	79	57	68	80	80	54	40	35
Tonelaje de madera para pulpa	245	228	357	335	342	140	107	86
8. Largo de ruptura, Km	8.363	8.172	8.423	8.517	8.159	8.297	8.353	8.448
Límites de confianza, Km	0.431	0.525	0.443	0.392	0.427	0.533	0.590	0.623
Variancia, km ²	3.530	3.597	3.313	3.347	3.568	3.708	3.994	4.053
Número de especies	73	50	65	84	75	50	44	40
Tonelaje	287	268	419	393	402	164	125	102

4.2 La matriz experimental

Como punto de partida se diseñaron 64 distribuciones del tipo indicado en la Figura 1 con respecto al largo de ruptura, comprendiendo distribuciones para ocho unidades para cada ocho sectores. Las distribuciones dentro de los sectores eran tales que todas las unidades dentro de los sectores pertenecían a la misma población con el mismo promedio. El Cuadro 3 contiene un resumen de las propiedades de esta matriz. Tomando esta matriz como punto de partida se formaron varias matrices derivadas:

- a) Una matriz en que todas las unidades, sin perjuicio del sector, pertenecen a la misma población con el mismo promedio. Esto se logró suponiendo que todas las unidades dentro de la Sección 1 en la matriz eran de diferentes sectores;
- b) Una matriz donde las unidades de diferentes sectores no pertenecen a la misma población con el mismo promedio. Esta es la matriz original que ya ha sido mencionada;
- c) Una matriz donde las unidades dentro de un sector no pertenecen a la misma población con el mismo promedio. Esto se logró combinando los sectores 1 y 5, 4 y 6, 2 y 7 y 3 y 8 para formar cuatro sectores en lugar de los ocho originales.

Se estudiaron dos distintas alternativas usando estas matrices. Primero, suponiendo que se cuenta con datos completos para cada unidad y segundo, cuando los datos para las unidades dentro de un sector se basan en estimaciones obtenidas de unidades de muestreo escogidas al azar. En el segundo caso se supuso que las unidades, sin perjuicio del sector, eran todas de aproximadamente el mismo tamaño.

4.3 Disponibilidad de datos completos de inventario y producción de papel para cada unidad

Lo ideal sería disponer de datos completos de inventario y fabricación de pulpa y papel para cada unidad dentro de un sector. Aunque esto es técnicamente factible a menudo puede resultar difícil en el sentido práctico, sin mencionar el costo. Sin embargo, a veces puede ser necesario hacerlo, y el estudio de estos casos suministra información sobre la precisión máxima que se puede lograr bajo diferentes condiciones.

La Figura 2 y el Cuadro 4 muestran los resultados obtenidos bajo diferentes condiciones:

- Cuando todos los sectores en el área son similares en composición y por lo tanto pertenecen a la misma población con el mismo promedio y variancia.
- Cuando la composición de los sectores es diferente en tanto que todas las unidades dentro de un sector pertenecen a la misma población con el mismo promedio y variancia.

En ambos casos las unidades eran de tamaños diferentes. En el primer caso los resultados están basados en unidades dentro del sector 1 del Cuadro 3 y en el segundo, en todos los sectores incluidos en el mismo cuadro.

Como se puede observar en las curvas de la Figura 2 la precisión aumenta rápidamente al comienzo con un incremento en el número de unidades para formar el lote combinado. Sin embargo, después de cuatro unidades sólo se obtiene un pequeño mejoramiento con un nuevo aumento en el número de unidades. Esto sirve para demostrar que bajo estas circunstancias, aun con un largo de ruptura para cada unidad que fluctúa entre 5,5 y 9,5 km, puede obtenerse una buena precisión con 4 - 8 unidades y no hay nada que justifique agregar nuevas unidades. En todos los casos la precisión, expresada como límites de confianza del promedio supera los 200 metros. Esto ciertamente es suficiente para cualquier pulpa, aun si estos límites no incluyen la variación debida al error experimental de una determinación del largo de ruptura.

Cuadro 4 Límites de confianza para el largo de ruptura obtenible bajo diferentes condiciones, suponiendo que se dispone de datos completos para cada unidad

Tipo de combinación de unidades	N° de unidades	Variancia			Largo promedio de ruptura km	Límites de confianza km
		Dentro unidades km ²	Entre unidades km ²	Total km ²		
1. Todos los sectores similares en composición; unidades de diferentes tamaños	3	1.372	-	1.372	7.621	0.532
	8	1.488	-	1.488	7.624	0.110
2. Todos los sectores similares en composición; unidades de diferentes tamaños	4	1.691	115.8	2.777	7.932	0.183
	4	1.421	55.4	2.037	7.836	0.172
	8	2.122	58.1	2.937	7.720	0.153

Cuadro 5 Límites de confianza para el largo de ruptura obtenible bajo diferentes condiciones, cuando sólo se dispone de estimaciones para los datos de las unidades dentro de un sector, obtenidas de unidades de muestreo dentro del sector. Todas las unidades son aproximadamente del mismo tamaño.

Tipo de combinación de unidades	N° de unidades	Variancia			Largo promedio de ruptura km	Límites de confianza km
		Dentro unidades km ²	Entre unidades km ²	Total km ²		
. Composición similar en todos los sectores *)	4	0.234	-	0.234	7.563	0.532
	8	0.223	-	0.223	7.563	0.345
. Composición diferente en todos los sectores; pequeñas variaciones dentro de los sectores*)	4	0.335	3.863	1.298	7.633	1.313
	4	0.316	1.757	0.709	7.423	0.927
. Todos los sectores con diferente composición; grandes variaciones dentro de los sectores**)	8	0.341	3.447	1.286	7.643	0.830
	4	0.619	1.106	0.716	7.647	0.901
	8	0.619	0.948	0.693	7.647	0.605

* Estimaciones para cada sector basadas en tres unidades de muestreo.

** Estimaciones para cada sector basadas en cuatro unidades de muestreo.

Figura 2

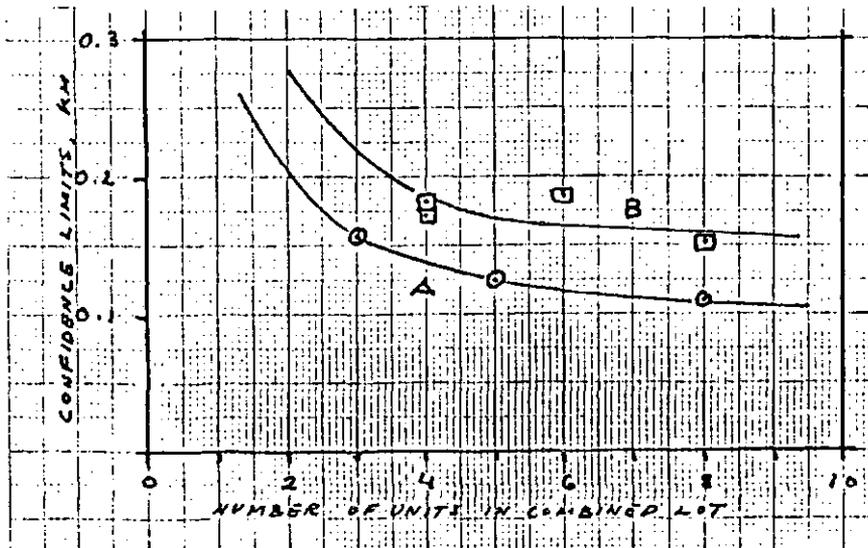


Figura 2

Influencia en el número de unidades tomadas para el lote combinado en los límites de confianza del largo de ruptura.

- a) Todas las unidades y sectores de composición similar;
- b) Marcadas diferencias en composición entre los diferentes sectores

Datos completos disponibles para cada unidad.

4.4 Datos de inventario y producción de papel para unidades estimados sobre la base de los resultados de unidades de muestreo.

Los resultados obtenidos cuando la estimación de los límites de confianza se basa en estimaciones de características de unidades dentro de cada sector, sobre la base de datos disponibles para unidades de muestreo se indican en el Cuadro 5. Las características de las unidades de muestreo se indican en el Cuadro 6.

Es evidente de estos resultados que si el número de unidades de muestreo por sector es reducido - 3 o 4 en este caso - se pierde mucha precisión en comparación con el caso en que se dispone de todos los datos de inventario y fabricación de papel para cada unidad. Si todos los sectores son de composición similar, los límites de confianza son de 0,345 km con 8 unidades en el lote combinado en lugar de 0,110 km cuando se dispone de datos completos para cada unidad. Si los sectores son de composición diferente, la situación es aún peor. Límites de confianza de 0,830 km en comparación con 0,153 km aún en el caso de que todas las unidades sean aproximadamente del mismo tamaño y las diferencias en tamaño se expresan como variación en tonelaje entre las unidades dentro de un sector.

Cuadro 6 Estimaciones de promedios y variancias obtenidas de unidades de muestreo para diferentes sectores

Sector	Número de unidades de muestreo	Número promedio de especies	Largo promedio de ruptura, Km	s_{jk}^2	s_{jt}^2	s_{tx}	s_{un}^2
1	3	67	7.563	0.0207	0.3005	-	0.3212
2	3	69	7.327	0.0329	0.2751	-	0.3080
3	3	76	9.205	0.0195	0.4452	-	0.4647
4	3	75	6.524	0.0226	0.2236	-	0.2462
5	3	75	8.369	0.0196	0.3680	-	0.3876
6	3	68	5.890	0.0229	0.1882	-	0.2111
7	3	72	8.127	0.0333	0.3470	-	0.3803
8	3	66	8.231	0.0536	0.3559	-	0.4095
1 + 5	4	68	7.969	0.1729	0.3735	0.1130	0.7724
4 + 6	4	65	6.229	0.1516	0.2282	-0.0698	0.2402
2 + 7	4	66	7.644	0.2817	0.3437	0.0947	0.8148
3 + 8	4	67	8.744	0.3095	0.4497	-0.0563	0.6466

En la estimación de las variancias se ha supuesto que existe un gran número de unidades en cada sector y por tanto no se ha hecho uso del factor finito de población para las variancias: Factor finito de población = $(1 - \frac{\text{número de unidades de muestreo en el sector}}{\text{Número total de unidades en el sector}})$

Lo que reduce algo las variancias, especialmente si el número de unidades en un sector es reducido. En el caso presente, con sólo ocho unidades por sector esto tendría una influencia considerable sobre el resultado. Sin embargo, ya que las ocho unidades han sido escogidas solamente para ilustrar el principio y no para ilustrar cuántas unidades debería haber en cada sector, el presente tratamiento matemático es más correcto, ya que en la realidad pueden haber hasta 100 unidades por sector.

Aunque a primera vista los resultados como tales no parecen muy prometedores, existen posibilidades para mejorarlos considerablemente. En primer término, es posible mejorar la precisión mediante el mejoramiento de la precisión de las estima-

ciones para las unidades y en segundo término, en el caso de grandes variaciones entre los sectores, la producción puede orientarse hacia varias distintas calidades, combinando unidades de características similares para formar una calidad. En tercer lugar, si la variancia dentro de los sectores es grande, pueden haber posibilidades para reducirla, reordenando las unidades para formar mayor número de sectores. En efecto, una variación grande dentro de los sectores implica que es necesario reconsiderar la selección de las unidades para formar un sector.

De los resultados en el Cuadro 5 se puede concluir que en general la variancia dentro de los sectores no deberá exceder de 0,3 y que entre sectores deberá mantenerse en un valor inferior a 1.0. Si este último valor es superado en forma significativa, se deberá escoger otra combinación de sectores para llegar a este valor y el programa de producción deberá incluir varios niveles de calidad.

Se puede suponer que los resultados incluidos en el Cuadro 5 abarcan la mayoría de los resultados que se pueden obtener bajo condiciones prácticas. Por ejemplo, una variación en el largo de ruptura por unidad que va desde 5,890 a 9,205 como en el ítem 2 del cuadro seguramente es mayor de lo que se puede esperar en cualquier área forestal. Variaciones desde 6,299 km a 8,744 parecen más realistas aunque las variaciones dentro de los sectores en el ítem 3 del mismo cuadro han sido levemente exageradas. Sin embargo, estos resultados sirven para demostrar los límites extremos dentro de los cuales puede variar la precisión, según las características del bosque.

4.5 Posibilidades de mejorar la precisión

Ya se ha mencionado que si la variancia dentro de los sectores es demasiado grande, ello prueba que es necesario un reordenamiento de las unidades entre los sectores. Básicamente, todas las unidades dentro de un sector deben pertenecer a la misma población con el mismo promedio y en caso de no ser así, será necesario realizar más trabajo en este sentido.

Además de esto, otra forma es aumentar el número de unidades de muestreo por sector. La influencia de ello está indicada en la Figura 3 de la cual se puede concluir que cualquier número de unidades de muestreo superior a ocho por sector no mejora significativamente la precisión. Esto es aplicable mientras los sectores sean grandes y no sea necesaria la aplicación del factor

de población finita. Por ejemplo, si los sectores son pequeños y el número de unidades de muestreo constituye el 50% de todas las unidades dentro de un sector, ello produce una reducción del 50% en la variación dentro de los sectores. Esta en efecto es una tercera forma para aumentar la precisión. Sin embargo, no reduce la variancia entre los sectores.

Las Figuras 4,5 y 6 sirven para ilustrar los límites de variancia dentro y entre los sectores aceptables para combinaciones de 4, 6 y 8 unidades para alcanzar cierto nivel de límites de confianza y en general pueden utilizarse para evaluar hasta qué punto se ha hecho bien la subdivisión de un área en sectores así como para hacer una evaluación rápida de los límites de confianza que pueden obtenerse bajo las condiciones que prevalecen en el área forestal en estudio. En general se puede esperar que se obtendrán límites de confianza entre 400 y 500 metros con ocho unidades de muestreo por sector y combinaciones de seis unidades para formar el lote, por ejemplo con variaciones entre y dentro de los sectores de 1,0 y 0,3, respectivamente. Con sectores pequeños y un muestreo de aproximadamente el 50% de las unidades es posible lograr una precisión aún mayor. El presente ejemplo aumentaría la proporción de aproximadamente 500 metros a 400 metros.

5. Influencia del tamaño de la unidad

El material presente no permite una evaluación directa de la influencia del tamaño de la unidad sobre la precisión del método. Sin embargo, es posible establecer algunas reglas generales desde el punto de vista estrictamente matemático, en combinación con experiencia práctica sobre las variancias. Por ejemplo, en el caso de disponer de datos completos de inventario y de producción de papel para cada unidad, el número de especies en el lote combinado, es decir, la suma de todos los valores de m_n no afecta las variancias s_{xn}^2 en un grado digno de mencionarse, pero, como esta suma se usa para estimar los límites de confianza del promedio del lote combinado, tiene influencia en la precisión. A primera vista esto implica que a mayor número de especies mayor precisión. Sin embargo, esto se ve contrareestado por el hecho que con un menor número total de especies en un bosque, el valor de la variancia s_{xn}^2 es menor. En consecuencia, la conclusión correcta de esto es que mientras mejor representadas se encuentren todas las especies del bosque en cada unidad, mayor será la precisión que se pueda alcanzar en el resultado final.

Si los datos para las unidades se estiman sobre la base de unidades de muestreo y no sobre la base de los inventarios y

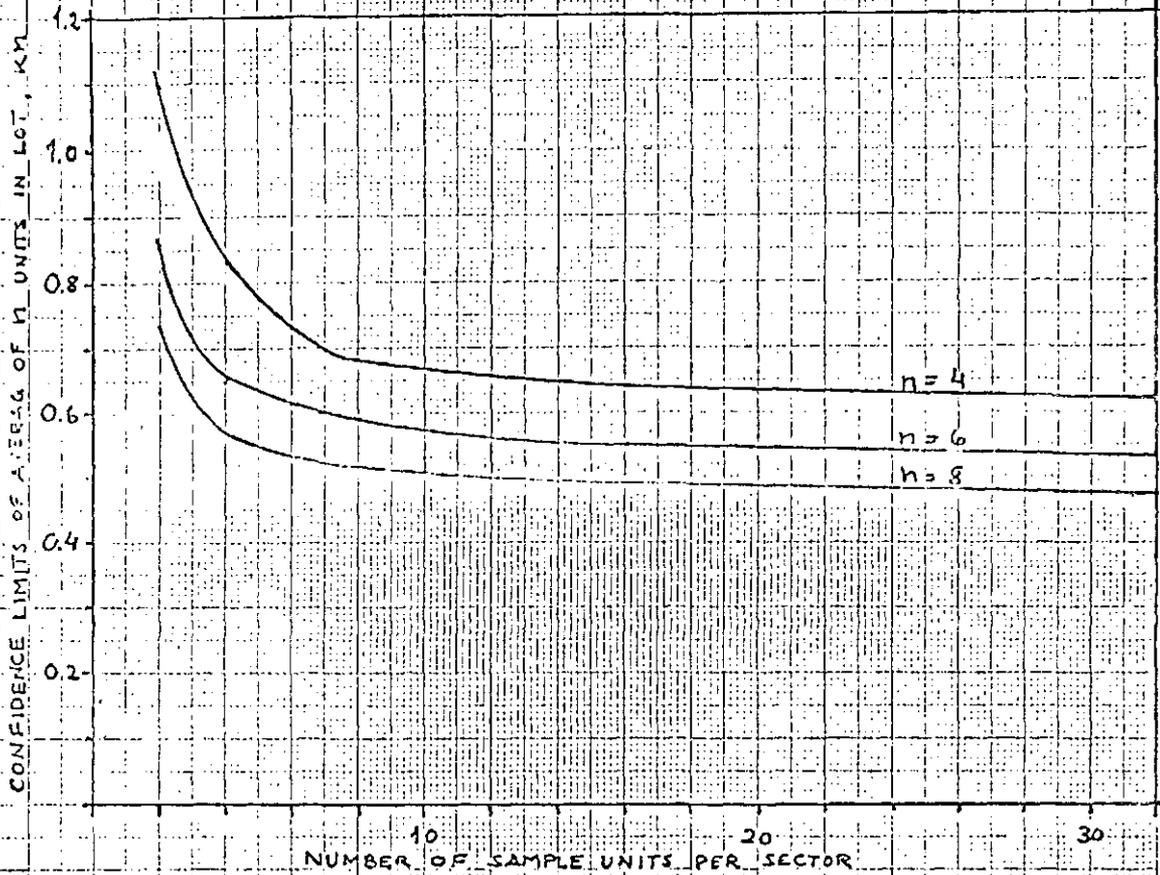


FIG. 3. EFFECT OF NUMBER OF SAMPLE UNITS PER SECTOR ON THE PRECISION OF THE AVERAGE BREAKING LENGTH OF A LOT FORMED BY COMBINATION OF 4, 6 OR 8 UNITS. VARIANCE BETWEEN SECTORS 1.0 KM² --- " --- " 0.5 KM²

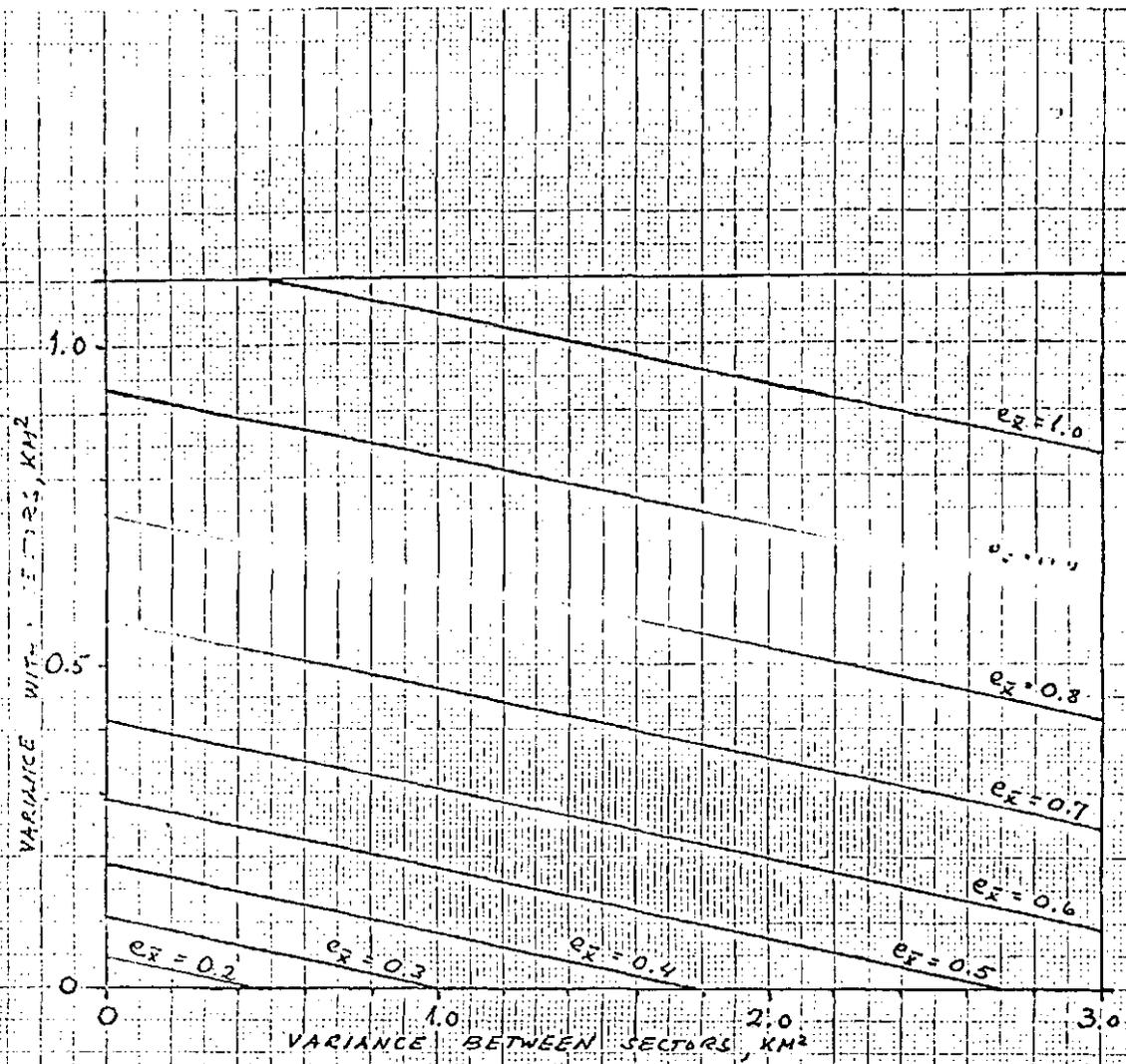


FIG. 4. RELATIONSHIP BETWEEN VARIANCES FOR LOTS FORMED BY COMBINATION OF 4 UNITS FROM 4 SECTORS AND THE CONFIDENCE LIMITS OF THE AVERAGE BREAKING LENGTH. THE DATA FOR THE UNITS ESTIMATED FROM 8 SAMPLE UNITS IN EACH SECTOR.

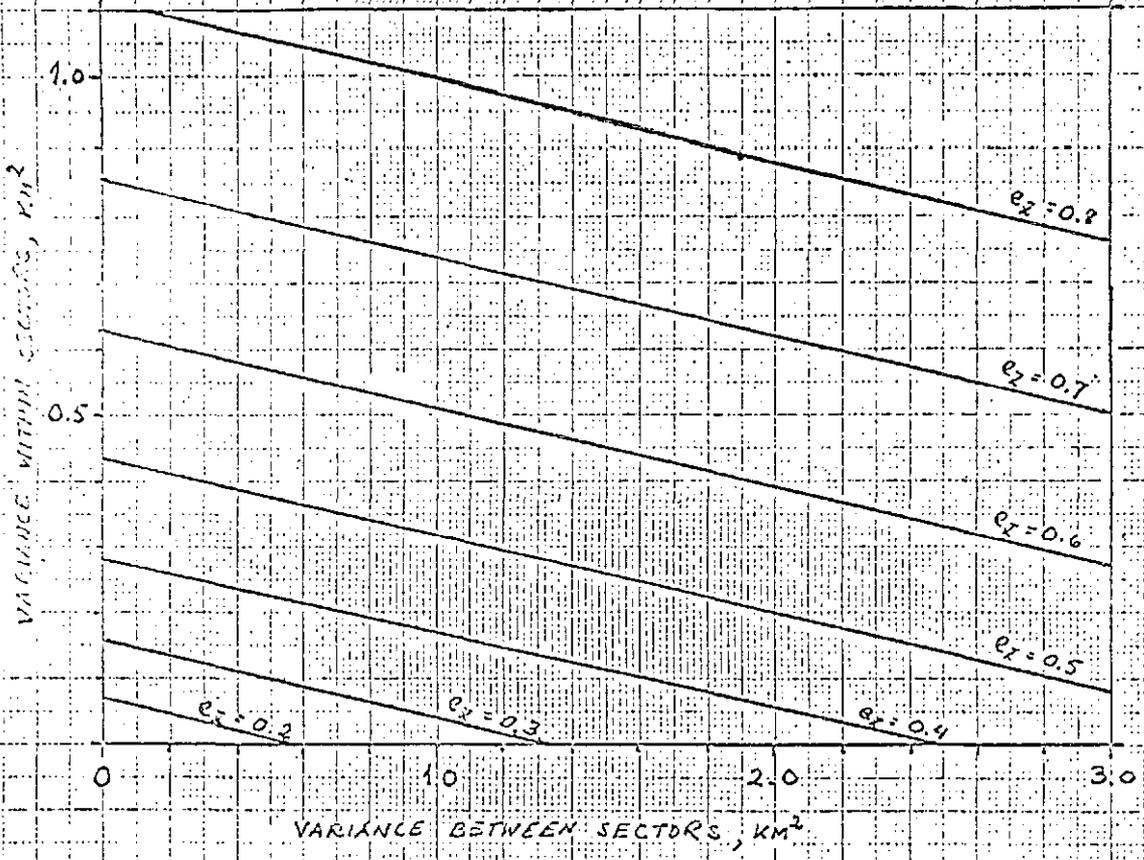


FIG. 5. RELATIONSHIP BETWEEN VARIANCES FOR LOTS FORMED BY COMBINATION OF 6 UNITS FROM 6 SECTORS AND THE CONFIDENCE LIMITS OF THE AVERAGE BREAKING LENGTH. THE DATA FOR THE UNITS ESTIMATED FROM 5 SAMPLE UNITS IN EACH SECTOR.

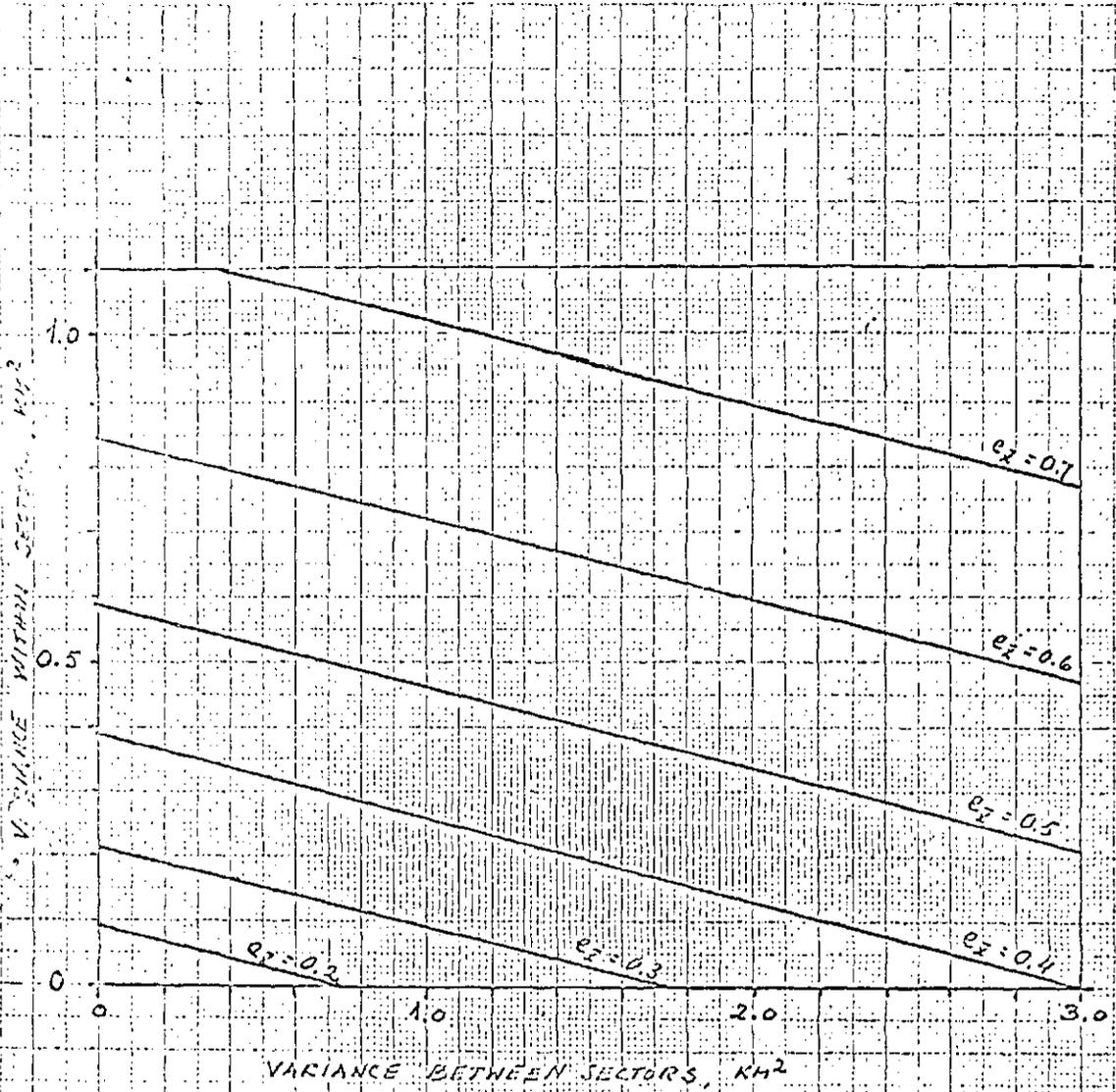


FIG. 6. RELATIONSHIP BETWEEN VARIANCES FOR LOTS FORMED BY COMBINATION OF 8 UNITS FROM 8 SECTORS AND THE CONFIDENCE LIMITS OF THE AVERAGE BREAKING LENGTH. THE DATA FOR THE UNITS ESTIMATED FROM 8 SAMPLE UNITS IN EACH SECTOR.

pruebas de cada unidad, el número de especies por unidad sólo afecta la variancia s_{jk}^2 y específicamente sólo el término que involucra la variancia dentro de las unidades, s_{j0}^2 (véase ecuaciones (9) y (9a)). Los demás términos no se ven afectados por el número de especies en una unidad.

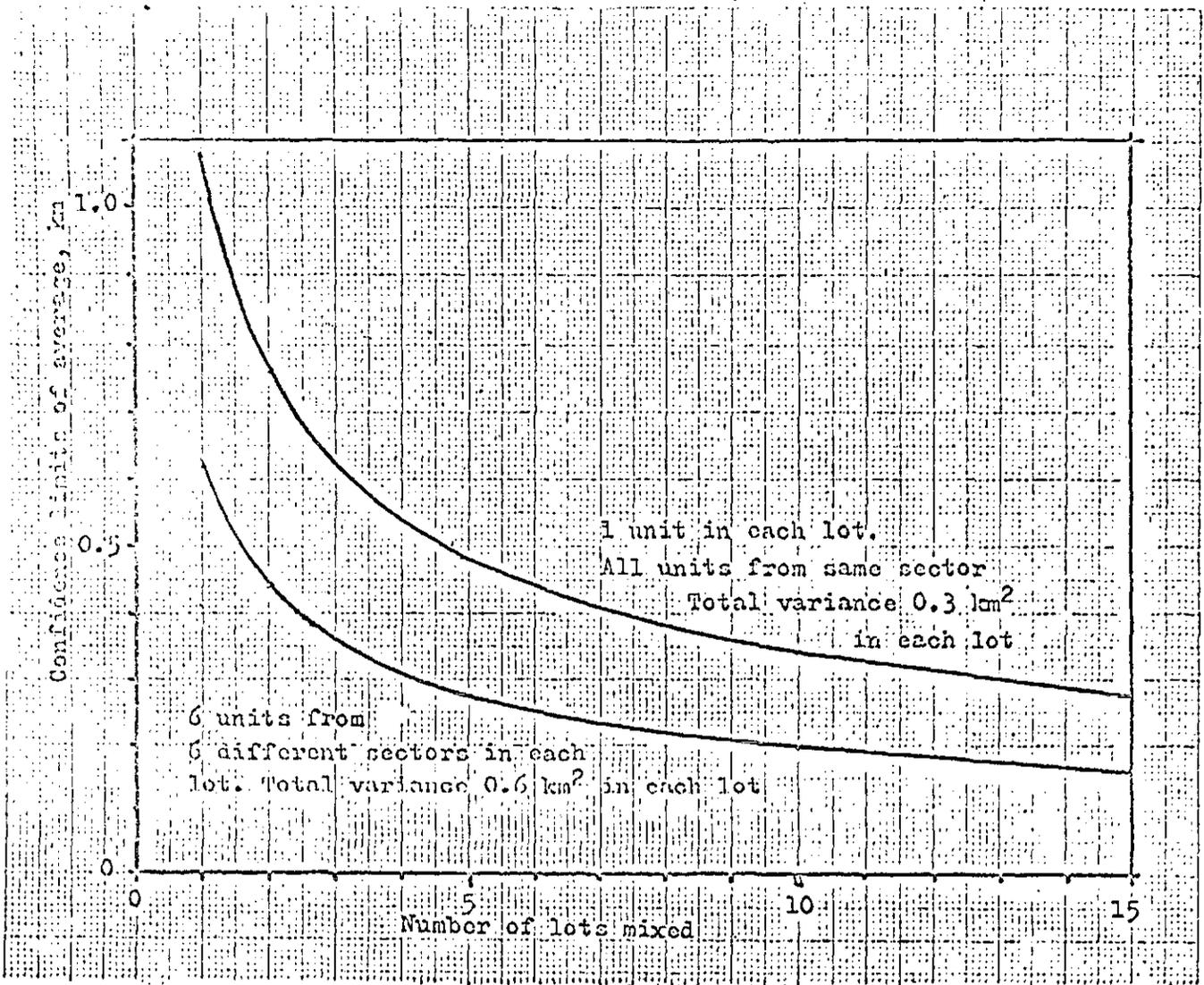
En cuanto a las demás fuentes de variancia, la variación en tonelaje por unidad, expresada como tonelaje por hectárea, no es afectada por el tamaño de la unidad como asimismo la variancia debida a las diferencias en composición entre los sectores.

Teniendo presente que fundamentalmente el tamaño de una unidad debe estar relacionada con el consumo de madera en una planta de pulpa, y el número de unidades que se toma para formar el lote deberá ser de entre 4 y 8, es lo más probable que el tamaño de la unidad como tal se encuentre dentro de límites que no afectan significativamente la precisión, siempre que la planta no sea extremadamente pequeña.

6. Influencia del almacenamiento y mezclas adicionales

Las conclusiones a que se ha llegado hasta el momento y los resultados obtenidos suponen que no se realizan más mezclas de los diferentes lotes combinados. Es evidente que cualquier ampliación de la mezcla, especialmente en relación con el almacenamiento de astillas, aumenta la precisión. La influencia de mezclas más amplias está ilustrada por la Figura 7 en una forma algo idealizada, donde se supone una mezcla completa de los lotes combinados. Por ejemplo, de acuerdo con esto, mezclando siete lotes con una variancia total de 0.6 km^2 cada uno y sobre la base de una combinación de 6 unidades para formar un lote, se aumenta la precisión de 0.62 km a 0.23 km . Sin una combinación de unidades para formar lotes, la mezcla de siete unidades con una variancia de 0.3 km^2 cada una, todas siendo idénticas en composición, se logra un mejoramiento en la precisión de 1.08 km a 0.41 km . Sin embargo, bajo la mayor parte de las condiciones que se aplican actualmente en el almacenamiento de astillas, la mezcla de aproximadamente 4 lotes puede lograrse bajo condiciones ideales. Esto corresponde a una precisión final de 0.31 y 0.54 km , respectivamente.

De lo anterior se desprende que la mezcla apropiada de varios lotes combinados en relación con el almacenamiento de trozas y astillas tiene un efecto marcado en la precisión final y por ello, por ejemplo, la manera en que se forma una pila de astillas y especialmente la manera en que éstas son retiradas de



g. 7. Influence of mixing of combined lots as chips on the confidence limits of the breaking length of the final batch. The data for the units estimated from 8 sample units in each sector.

la pila para ser alimentadas al digestor tiene una marcada influencia en el resultado final y puede ser necesaria una reconsideración y equipo así como instalaciones diferentes de las que se utilizan en relación con el almacenamiento de astillas basado solamente en unas pocas especies o en una sola.

7. Conclusiones

Los resultados de este estudio muestran que se logra una buena precisión de aproximadamente 0,2 km en el largo de rupturas de la pulpa de un área forestal consistente de maderas duras tropicales mixtas, siempre que la madera para pulpa sea recogida de unidades de maderero en el bosque si se cuenta con datos completos de inventario y de fabricación de papel para cada una de ellas, cualquiera sea la variancia entre los diferentes sectores. En efecto, en tal caso ni siquiera es necesario formar sectores; se puede dividir toda el área en unidades, sin sectores que las agrupen. Sin embargo, es posible que no sea económica ni siquiera prácticamente factible realizar inventarios completos y recolección de otros datos para cada unidad. En este caso los datos para cada unidad dentro de un sector deben estimarse sobre la base de datos obtenidos mediante unidades de muestreo dentro de cada sector. Se ha mostrado que el número óptimo de unidades de muestreo por sector es de 8, a menos que los sectores sean muy pequeños y el número de unidades de muestreo dentro de un sector constituya aproximadamente el 50% de todas las unidades dentro de cada sector.

Los sectores deben escogerse de tal manera que todas las unidades dentro de él pertenezcan a la misma población con el mismo promedio en el largo de ruptura obtenible de la madera para pulpa extraída de él. Para esto puede ser necesario un inventario forestal en dos etapas - primero para establecer una división preliminar en sectores y obtener material para la evaluación estadística de los sectores, seguida por la división final en sectores y unidades de muestreo para obtener los datos necesarios para las unidades dentro de cada sector. De esta manera se puede lograr una precisión de aproximadamente 0,4 km en el largo de ruptura.

Se puede obtener un mejoramiento adicional en la precisión mediante la mezcla de lotes combinados formados de unidades en relación con el almacenamiento de trozas y en especial de astillas.

En resumen, se puede concluir que el método de utilizar unidades

de maderero proporciona un medio útil para reducir las variaciones en la calidad de la pulpa en relación con la producción de pulpa de maderas duras tropicales mixtas, ya que los métodos aplicados en la actualidad tienden a proporcionar límites de confianza de aproximadamente 1,0 km en el largo de ruptura, incluyendo el efecto del almacenamiento de trozas y astillas. Si esto puede reducirse a 0,4 km antes del almacenamiento de las trozas y de las astillas se habrá ganado mucho.

APENDICE 3

PROGRAMAS DE INVESTIGACIONES PARA PROPORCIONAR LA INFORMACION
NECESARIA PARA MINIMIZAR LAS VARIACIONES EN LA CALIDAD DE LA
PULPA MEDIANTE LA COMBINACION APROPIADA DE LA MADERA PARA PULPA
DE DIFERENTES SECTORES DE MADREO

Contenido

1. Antecedentes
2. Objetivos
3. Programa de investigación
 - 3.1 Esquema general del programa
 - 3.2 Inventario forestal
 - 3.3 Evaluación de especies o muestras individuales
 - 3.3.1 Determinación de las características de la madera
 - 3.3.2 Determinación de las características para la producción de pulpa
 - 3.3.3 Determinación de las características de producción de papel
 - 3.3.4 Selección final de las especies
 - 3.3.5 Estimación de las características de mezclas basadas en especies individuales
 - 3.4 Lejiación de mezclas naturales de maderas

PROGRAMAS DE INVESTIGACIONES PARA PROPORCIONAR LA INFORMACION
NECESARIA PARA MINIMIZAR LAS VARIACIONES EN LA CALIDAD DE LA
PULPA MEDIANTE LA COMBINACION APROPIADA DE LA MADERA PARA
PULPA DE DIFERENTES SECTORES DE MADREO

1. Antecedentes

El principio que se desea alcanzar para minimizar la variabilidad en la calidad de la pulpa es el de un flujo controlado de madera para pulpa de los diferentes sectores del bosque de composición conocida en cuanto a las características de las pulpas que se pueden obtener de una mezcla de la madera para pulpa de dichos sectores. El énfasis está en la calidad general de la madera para pulpa por sector más bien que en las características de lejiación de las especies individuales. La madera para pulpa que se puede obtener de un sector forestal en consecuencia se utiliza como tal, sin seleccionar las especies, excepto la eliminación de aquellas que no son apropiadas.

La finalidad del programa es la de proporcionar la información necesaria para una estimación de las características de la madera para pulpa que se obtiene de un sector forestal, expresadas como apropiadas para la producción de pulpa y papel de una mezcla natural de madera para pulpa del sector en cuestión.

2. Objetivos

Para proporcionar una base para la evaluación estadística de las características para la producción de pulpa y papel de una mezcla natural de madera para pulpa de un sector forestal y, utilizar esta información, para permitir reducir a un mínimo las variaciones de calidad de la pulpa producida mediante el flujo selectivo y controlado de madera para pulpa de varias áreas hacia la planta, utilizando métodos estadísticos para estimar la calidad de la pulpa que se puede obtener de los diversos flujos.

3. Programa de investigación

3.1 Esquema general del programa

El programa de investigación comprende cuatro partes, a saber:

- a) Un inventario forestal para cada sector y extracción de muestras de cada especie presente;
- b) Producción de pulpa de cada especie individualmente en pequeña escala, seguida por pruebas de sus características para la producción de papel;
- c) Evaluación estadística de las características para la producción de pulpa y papel de mezclas naturales de especies de cada sector del bosque, sobre la base de los resultados obtenidos con las especies individuales, calculando promedios ponderados y variancias para cada sector separadamente;
- d) Producción de pulpa con mezclas naturales de madera para pulpa de algunos de los sectores en una escala levemente superior, primero para determinar las condiciones apropiadas para la formación de la pulpa y la molienda para las pruebas en pequeña escala con especies individuales. En segundo término, para obtener información sobre la influencia de las características de la pulpa sobre las variables del proceso, y en tercer término, para hacer posible la comparación de los resultados obtenidos mediante cálculo con una mezcla de la misma composición bajo el ítem c) con los resultados obtenidos al hacer pulpa con la misma mezcla.

3.2 Inventario forestal

El inventario forestal se realiza en dos fases; primero, un estudio general de toda el área, por ejemplo mediante formas de interpretación y sobre la base de topografía general con el fin de identificar sectores dentro del bosque con una composición homogéneamente heterogénea. Una vez lograda esta división del bosque en sectores uniformes, se subdivide cada sector en unidades de madereo cuyo tamaño se determina de acuerdo con lo siguiente:

Se supone que la mezcla final de madera para pulpa consistirá de una mezcla de madera de 4-8 unidades de madereo, cada una de ellas de distintos sectores, dependiendo del tamaño de la planta para pulpa. El tamaño de la unidad de madereo es dado por el área que se va a talar durante el día. Sin embargo, no debería ser inferior a 1.5 hectáreas.

Entre las unidades de madereo dentro de cada sector se seleccionan ocho al azar para formar las unidades de muestreo para el inventario forestal y para las pruebas de producción de pulpa y papel. Sin embargo, si los sectores son pequeños, se toma un

número menor de unidades de muestreo (véase Apéndice II, secciones 4.4 y 4.5).

La información que se requiere del inventario forestal es la siguiente:

- las especies representadas en cada unidad de muestreo por clase de tamaño y condiciones de crecimiento, tomando muestras y manteniéndolas separadas para las pruebas;
- el volumen extractable de cada especie por unidad de muestreo, clase de tamaño y condiciones de crecimiento.

Si la misma especie de la misma clase de tamaño y las mismas condiciones de crecimiento se encuentra en otras unidades, sin perjuicio de un sector, no se tomará más muestras, ya que se estima que la muestra de ese tipo que se tomó primero representa a todos los árboles del mismo tipo en el área forestal.

Los resultados de cada unidad de muestreo se mantendrán separados para el tratamiento estadístico. Si las pruebas estadísticas realizadas sobre el material final después que las pruebas de producción de pulpa y papel muestren que es necesario reconsiderar los límites de los sectores, será necesario llevar esto a cabo, posiblemente tomando unidades adicionales de muestreo con el fin de mantener el número de unidades de muestreo por sector en el valor deseado, es decir, 8.

Una vez establecida la composición general de los sectores se sacarán muestras representativas de algunos de ellos - se necesitan aproximadamente diez - para permitir la producción de pulpa con mezclas naturales de madera de dichos sectores.

3.3 Evaluación de especies o muestras individuales

3.3.1 Determinación de las características de la madera

Durante la etapa de muestreo del inventario forestal, se consideran idénticos los árboles de una especie y clase de tamaño, que crecen bajo las mismas condiciones, cualquiera sea el sector o unidad de muestreo en que se encuentren. Esto reduce considerablemente la cantidad de muestras que deberán ser evaluadas individualmente.

Para la evaluación de las características de la madera, se hacen las siguientes determinaciones para cada muestra:

- Densidad básica
- Contenido de sílice
- Contenido de látex y/o contenido extractivos de etanol-benceno

Las dos últimas determinaciones se hacen con el fin de eliminar las especies de maderas inaptas de la mezcla de maderas para pulpa. Sin embargo, no importa tanto el contenido de sílice o látex de la muestra, como el contenido total de estos elementos en la mezcla final de madera para pulpa. Aunque el contenido de la muestra puede ser alto, las especies aún pueden ser aceptables para la mezcla si su volumen en el bosque es reducido.

3.3.2 Determinación de las características para la producción de pulpa

Antes de poder iniciar la determinación de las características para la producción de pulpa de las especies individuales, es necesario realizar algunas pruebas preliminares con algunas mezclas naturales de madera con el fin de establecer las condiciones generales óptimas de producción de pulpa para la mezcla de madera para pulpa. Una vez establecidas, estas condiciones se aplican a todas las muestras de las especies individuales.

Preferentemente deberá usarse un digestor muy pequeño para la producción de pulpa de especies o muestras individuales - de un tamaño suficiente para producir aproximadamente 100 gramos de pulpa. Puede ser de diseño más bien sencillo en la forma de un digestor de serie de 6 a 12 autoclaves en el mismo baño de aceite o aire. Sin embargo, debido al tamaño muy reducido de los digestores y en consecuencia de la pequeñez de la mezcla, es necesario realizar el astillado de la madera con el mayor cuidado, produciendo astillas "perfectas" de tamaño uniforme a través de todo el diámetro de las trozas. Para ello, es necesario utilizar una "astilladora" en la forma de un micrótomo simplificado, portando las astillas de un grosor igual.

Se realiza sólo una cocción para cada muestra bajo condiciones exactamente iguales, seleccionadas como se mencionó anteriormente. Después de la cocción, se determina el rendimiento de pulpa, la cantidad de residuos y el grado de separación de la lignina (índice Kappa o índice de cloro) así como el consumo químico.

3.3.3 Determinación de las características de producción de papel

Antes de determinar las características de producción de pulpa de las muestras para especies individuales, es necesario realizar algunas pruebas de orientación con algunas de las pulpas obtenidas con mezclas naturales bajo condiciones seleccionadas de lejiación. El refinamiento se realiza con un refinador pequeño, - preferentemente un molino PFI - y se determina del número de revoluciones necesarias para una pulpa de mezclas de maderas naturales para obtener el grado deseado de desgote. Este número de revoluciones se aplica, entonces, en el refinamiento de todas las muestras de especies individuales de madera. De este modo, sólo se toma un punto de refinamiento para cada especie, sin perjuicio del grado de desgote obtenido para cada una.

Después del refinamiento, se determina el grado de desgote y las propiedades pertinentes de resistencia de papel (Hand sheets) hecho con la pulpa refinada.

3.3.4 Selección final de las especies

Sobre la base de la información obtenida al determinar las características de lejiación y producción de papel de las muestras de especies individuales, tomando en cuenta las cantidades de cada especie en el área forestal, se eliminan de nuevas consideraciones las especies estimadas indeseables.

3.3.5 Estimación de las características de mezclas basadas en especies individuales

Para cada unidad de muestreo en el bosque se hace un cálculo del promedio ponderado y de la variancia ponderada con respecto a las características de lejiación y producción de papel de una mezcla natural de madera de dicha unidad, sobre la base de los resultados obtenidos con las muestras de especies individuales, según lo descrito en el Apéndice II, secciones 3.1 - 3.2. A continuación, se hace una evaluación estadística de la variancia entre las unidades de cada sector. Básicamente, todas las unidades de un sector deberían pertenecer a la misma población con el mismo promedio, es decir, la variancia entre las unidades no debe ser mucho mayor que la variancia dentro de las unidades. Si hay una diferencia significativa entre las unidades dentro de un sector, es necesario reconsiderar los límites del sector, ya que significa que la determinación inicial de éstos no fue correcta. En este caso es necesario rehacer una parte del inventario forestal,

seleccionando unidades de muestreo adicionales para completar las ocho unidades de muestreo en cada sector, a menos que los sectores sean muy pequeños. Sin embargo, esta vez probablemente no sea necesario tomar muestras de especies.

Una vez que se haya comprobado que todas las unidades de muestra dentro de los sectores pertenecen a una misma población, se calcula el promedio general y la variancia para cada uno de los sectores separadamente y estos valores se asignan a todas las unidades de maderero dentro del sector como estimaciones.

3.4 Lejiación de mezclas naturales de madera

Ya se ha dicho en las secciones 3.3.2 y 3.3.3 que es necesario realizar pruebas preliminares con mezclas naturales de madera de algunos de los sectores con el fin de establecer las condiciones de lejiación y producción de papel que deberán aplicarse a las pruebas con las muestras de especies individuales. Las condiciones de lejiación y de refinamiento que se determinan para las mezclas, se consideran entonces como las condiciones normales para todas las pruebas siguientes.

Se someten a lejiación bajo las mismas condiciones de las muestras de especies individuales mezclas de madera que corresponden a la composición de aproximadamente diez de los sectores del bosque que finalmente se determinen. Además de esto, se aplican al menos dos conjuntos adicionales de condiciones a las mezclas, con el fin de establecer la influencia de condiciones variadas de lejiación sobre ellas. Las características de producción de papel se determinan para cada una de las mezclas, cualquiera sean las condiciones de lejiación, en exactamente la misma manera que para las especies individuales.

Utilizando los datos obtenidos, se preparan los diagramas es decir:

- 1) Diagramas que muestran la relación entre las características de lejiación y producción de papel según las estimaciones de los resultados obtenidos por el cálculo del promedio ponderado de dicha característica para el sector de los valores obtenidos para las muestras de especies individuales (sección 3.3.5) por una parte y la misma característica que ha sido obtenida al realizar la prueba con una mezcla natural de madera del mismo sector, por la otra. Estos diagramas se utilizan, entonces, para corregir los promedios y límites de

confianza obtenidos sobre la base de los resultados para especies individuales para lotes de madera para pulpa formados por la combinación de madera de varios sectores.

- 2) Diagramas que muestran la influencia de un cambio en las condiciones de lejiación para una mezcla sobre sus características de lejiación y producción de papel. Estos diagramas se utilizan para estimar el efecto de los ajustes en las condiciones del proceso sobre las características de la pulpa obtenida con lotes de madera para pulpa formados por la combinación de madera de varios sectores, proporcionando de este modo un medio para controlar la calidad utilizando las variables del proceso. Los resultados obtenidos con todas las mezclas de madera probadas se combinan para formar un diagrama para cada característica.

