



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Efecto de ayudantes en pulpaje kraft basados en
antraquinonas y surfactante sobre pulpa de
Eucalyptus nitens.**

Patrocinante: Sra. Silvana Mariani A.
Trabajo de Titulación presentado como
parte de los requisitos para optar al Título
de **Ingeniero en Maderas**.

JIRLESKA YANITZA FLÁNDEZ GUZMÁN.

VALDIVIA
2006

CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

| | | Nota |
|---------------|-------------------------------|------------|
| Patrocinante: | Sra. Silvana Mariani Álvarez. | <u>6.8</u> |
| Informante: | Sr. Juan Eduardo Diaz-vaz. | <u>6.2</u> |
| Informante: | Sr. Sergio Parra Arenas. | <u>6.6</u> |

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

Sra. Silvana Mariani Álvarez.

AGRADECIMIENTOS.

Mis más sinceros agradecimientos a todos aquellos que de una u otra manera formaron parte en el desarrollo no solo de este trabajo sino también de los conocimientos, crecimiento personal y profesional que he adquirido asta esta etapa de mi vida.

Nada de esto seria posible si no me apoyaran como lo hacen ustedes, mis viejitos. Les debo tanto y esta es la mejor manera que sepan ustedes y el que lea esto que los quiero por todos los sacrificios que han tenido que pasar por mí.....,un beso.

Hermanito siempre preguntando que estoy haciendo y para donde voy, te quiero mucho LEITO, tu también ayudaste a que este trabajo sea posible.

A mi ague AIDA, abuelita gracias por quererme como me quieres y por estar siempre presente y disponible cuando necesito algo.

A mi tío RAUL quien me ha entrega conocimiento continuo y una visión de las cosas desde un espectro muy diferente en donde refleja el cariño y preocupación por que sea la mejor siempre, y a mi tía JEANNETTE quien se preocupa y se ocupa como lo haría una madre gracias por su apoyo, los quiero mas de lo que se los he expresado.

A mis amigas siempre juntas, DELIA, PAULI y PAME, preocupadas unas de las otras pasaron muchas personas por nuestro lado pero siempre nos quedamos nosotras, gracias por escuchar, ayudar y por la preocupación que siempre he sentido que tienen hacia mí, VERO a ti también te agradezco por los consejos y agradables conversaciones.

A mi profesora patrocinante Sra. SILVANA MARIANI, por la dedicación constante, el tiempo que nunca le sobraba, gracias profe por la confianza que me hacia creer mas en lo que podía realizar y en donde se me olvidaba que era mi profesora y pasaba a ser una amiga, no solo durante mi tesis sino desde que la conocí como profesora.

Al SR. JUAN EDUARDO DIAZ-VAZ, por la cooperación prestada en el desarrollo de este trabajo y en mi formación profesional. Al SR. SERGIO ARENAS, por el interés en conocer sobre el tema trabajado.

Al profesor SR. MARCOS TORRES, por la paciencia y ayuda prestada en el desarrollo practico de este trabajo.

A mis padres Leonardo y Gloria Elisa.
A mi hermano Leo.
A mis abuelos.

ÍNDICE DE MATERIAS.

| | Página |
|--|-----------|
| 1. | 1 |
| INTRODUCCION. | |
| 2. | 3 |
| MARCO TEORICO. | |
| 2.1. Generalidades sobre el sector forestal e industria de celulosa y papel. | 3 |
| 2.2. Eucalyptus nitens. | 4 |
| 2.2.1. Antecedentes generales. | 4 |
| 2.2.2. Propiedades físicas y morfológicas. | 5 |
| 2.2.3. Propiedades químicas. | 7 |
| 2.3. Pulpaje kraft. | 8 |
| 2.4. Aditivos. | 10 |
| 2.4.1. Antraquinonas. | 10 |
| 2.4.2. S.A.Q. | 11 |
| 3. | 13 |
| DISEÑO DE INVESTIGACION. | |
| 3.1. Materiales. | 13 |
| 3.1.1. Madera. | 13 |
| 3.1.2. Aditivos. | 13 |
| 3.1.3. Normas y equipos. | 13 |
| 3.2. Métodos. | 14 |
| 3.2.1. Obtención de pulpa. | 14 |
| 3.3. | 15 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS. | |
| 3.3.1. Diseño experimental. | 15 |
| 3.3.2. Análisis inferencial. | 16 |
| 3.3.3. Hipótesis. | 16 |
| 4. | 17 |
| RESULTADOS. | |
| 4.1. Resultado de análisis de rendimientos con respecto a cargas y aditivos. | 17 |
| 4.1.1. Rendimiento total. | 17 |
| 4.1.2. Rendimiento de fibras clasificadas. | 19 |
| 4.1.3. Rendimiento rechazo. | 21 |
| 4.2. Resultado de pulpa kraft clasificada respecto a cargas y aditivos. | 23 |
| 4.2.1. Número Kappa. | 23 |
| 4.2.2. Carga de álcali activo consumido. | 25 |
| 4.2.3. Viscosidad. | 26 |
| 4.3. Resultado de pruebas mecánicas respecto a cargas y aditivos. | 28 |
| 4.3.1. Blancura. | 28 |
| 4.4. Resultados comparativos respecto a cargas y aditivos. | 30 |
| 5. | 31 |
| CONCLUSIONES. | |
| 6. | 32 |
| BIBLIOGRAFÍA. | |

ÍNDICE DE CUADROS.

| | | Página |
|------------|---|--------|
| Cuadro 1. | Tendencia de la densidad en Eucalyptus nitens. | 5 |
| Cuadro 2. | Tendencia de contenido de lignina en diferentes Eucalyptus. | 7 |
| Cuadro 3. | Cantidad porcentual de lignina y razón S/G. | 7 |
| Cuadro 4. | Función de cada tipo de aditivo en el pulpaje kraft. | 12 |
| Cuadro 5. | Normas utilizadas para la medición de parámetros. | 13 |
| Cuadro 6. | Parámetros a utilizar durante el pulpaje kraft de E.nitens. | 14 |
| Cuadro 7. | Modelo estadístico diseño factorial 2 factores (3 x 4). | 15 |
| Cuadro 8. | Análisis de varianza para el Arcoseno $\sqrt{\text{Rendimiento total\%}}$ | 18 |
| Cuadro 9. | Análisis de varianza para el Arcoseno $\sqrt{\text{Rendimiento clasificadas \%}}$. | 20 |
| Cuadro 10. | Análisis de varianza para el Arcoseno $\sqrt{\text{Rendimiento rechazo\%}}$. | 22 |
| Cuadro 11. | Análisis de varianza para el Número Kappa. | 24 |
| Cuadro 12. | Análisis de varianza para el álcali activo consumido. | 26 |
| Cuadro 13. | Análisis de varianza para el viscosidad. | 27 |
| Cuadro 14. | Análisis de varianza para la blancura | 30 |

ÍNDICE DE FIGURAS.

| Página | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1. | Rendimiento total de pulpa de Eucalyptus nitens. | 17 |
| Figura 2. | Rendimiento clasificada de pulpa de Eucalyptus nitens | 19 |
| Figura 3. | Rendimiento rechazo de pulpa de Eucalyptus nitens. | 21 |
| Figura 4. | Número kappa de pulpa de Eucalyptus nitens | 23 |
| Figura 5. | Carga de Álcali Activo de pulpa de Eucalyptus nitens. | 25 |
| Figura 6. | Viscosidad de pulpa de Eucalyptus nitens. | 26 |
| Figura 7. | Blancura de pulpa de Eucalyptus nitens. | 28 |
| Figura 8. | Rendimiento clasificado & Rechazo pulpa de Eucalyptus nitens | 30 |
| Figura 9. | Rendimiento clasificado & Número Kappa de pulpa de Eucalyptus nitens | 30 |

RESUMEN EJECUTIVO.

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto que tiene el adicionar tres aditivos distintos en diferentes cargas y observar si existen efectos significativos, dependiendo del tipo de aditivo y carga de los mismos en la aplicación de estos sobre las respuestas del pulpaje kraft de *Eucalyptus nitens*, los cuales se comparan con pulpaje sin aditivo que se utiliza como testigo. Los aditivos son Antraquinona (AQ), mezcla Surfactante y antraquinona (SAQ) y surfactante P242 con cargas de 0,1% bms y 0,05% bms. Las respuestas a evaluar en la pulpa corresponden a rendimientos, rechazos, viscosidad, blancura y además consumo de reactivo de pulpaje como álcali.

Para llevar a cabo este estudio se usan astillas industriales provenientes de Celulosa Arauco y Constitución S.A, planta Valdivia, el proceso de pulpaje se realiza en laboratorio de pulpa y papel de la Universidad Austral de Chile y la evaluación de blancura se efectúa en laboratorio de CMPC Cartulinas, planta Valdivia.

En cuanto al procedimiento experimental, las respuestas se determinan de acuerdo a los procedimientos indicados en las normas TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry). El proceso de pulpaje kraft se realiza por triplicado y se somete a condiciones de cocción constantes.

Los resultados obtenidos se analizan utilizando un análisis ANOVA, para esto se utilizó el software Excel.

La adición de aditivos al pulpaje afectan en forma significativa los resultados del pulpaje kraft de *Eucalyptus nitens*, debido a las características catalizadoras que poseen dichos aditivos, en especial el aditivo que presenta las mejores ventajas respecto de respuestas corresponde a AQ en una menor carga (0,05% bms). Resultando mayor rendimiento clasificado, menor rechazo, mayor deslignificación, mayor blancura.

Palabras claves: Pulpa kraft, antraquinona, surfactante, E.nitens.

1. INTRODUCCIÓN.

La industria de la celulosa, en las últimas décadas se ha transformado en la segunda generadora de divisas para Chile después del cobre, es así como con el fin de satisfacer las necesidades industriales chilenas, se ha incrementado la superficie de plantaciones de especies introducidas (*P.radiata* y *Eucalyptus*) por ende la producción y demanda de este producto año tras año crece en forma importante.

- La producción de pulpa química y mecánica para el año 2002 fue aproximadamente de 2.687 millones de toneladas.
- Para el año 2003 la exportación de pulpa química fue de un 34% respecto al total de exportaciones (US 782.337. millones FOB).
- En año 2003, las exportaciones de pulpa química generaron un retorno de 1.222 U\$/tonelada.

Mayoritariamente la producción mundial de celulosa es a través del proceso al sulfato o "kraft" (método alcalino), el cuál consiste en el pulpaje (cocción) de astillas en presencia de reactivos químicos (NaOH, Na₂S), durante este proceso los reactivos penetran la madera, y una vez que la temperatura de deslignificación supera a la temperatura de plastificación de la lignina, ocurre una individualización y deslignificación de las fibras.

En los últimos años la industria de celulosa tanto mundial como nacional apuestan por trabajar con distintas clases de *Eucalyptus spp*, esta introducción se debe al rápido crecimiento que presenta esta especie la tasa de incremento anual promedio de 30 m³/ha/año y rotaciones entre 8 a 14 años y por ser resistente a heladas y a fríos extremos que están presentes en regiones del sur de Chile (IX y X Región).

La composición química de la madera, ayudan a determinar el comportamiento en los procesos de pulpaje, "en latifoleadas los polisacáridos (holocelulosa) participan con un 70-75% y lignina 21%", siendo este último el componente de la madera que se debe extraer de la lámina media, quedando un remanente en las paredes de ésta, que se elimina o se transforma en etapas posteriores de blanqueo, a su vez es de importancia conocer el tipo de lignina (guayacilo y siringilo) ya que presentan reactividades diferentes.

La menor densidad del *Eucalyptus nitens*, 450 y 527 kg /m³, hace creer que su uso es inadecuado para pulpaje, puesto que los rendimientos pulpables volumétricos de éste en la producción de celulosa pueden resultar algo menores a los obtenidos con *Eucalyptus globulus*, sin embargo esta especie puede suplir esta diferencia con los mayores crecimientos y ocupando superficies donde el *Eucalyptus globulus* no puede crecer.

El mejorar la deslignificación y reducir los tiempos de penetración de reactivos en el pulpaje, es lo que la industria busca por fines económicos. Distintas investigaciones recomiendan el uso de aditivos en el pulpaje, puesto que la función de estos es acelerar la velocidad de reacción de deslignificación, reducir el contenido de lignina residual en la pulpa, y proteger los carbohidratos, esto permite un incremento en los rendimientos en pulpaje y disminución de la sulfidez, por ende el porcentaje de contaminación se reduce debido a una menor generación de mercaptanos (TRS). Estos ayudantes (catalizadores o aditivos) son “antraquinona” y “surfactante”, el primero tiene la facultad de proteger los enlaces de los carbohidratos evitando su degradación y acelerando la velocidad de deslignificación y el segundo mejora la penetración del reactivo en la astilla, durante la etapa de impregnación y levantamiento de temperatura en el digestor.

Objetivo general.

- Estudiar el efecto de los diferentes aditivos comerciales antraquinona (AQ), surfactante con antraquinona (SAQ), y surfactante (P242) y sus cargas en la respuesta de la pulpa kraft cruda de *Eucalyptus nitens*.

Objetivos específicos.

- Cuantificar el efecto de los diferentes aditivos comerciales y cargas en las respuestas de rendimientos, deslignificación y consumo de reactivo en el proceso de obtención de pulpa kraft cruda de *Eucalyptus nitens*.
- Determinar si existen diferencias significativas por efecto del tipo de aditivo utilizado sobre las respuestas de la pulpa kraft cruda.
- Determinar si existen diferencias significativas por efecto de la carga de aditivo utilizado sobre las respuestas de la pulpa kraft cruda.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Generalidades sobre el sector forestal e industria de celulosa y papel.

La celulosa constituye el principal producto de exportación del sector forestal chileno. El volumen exportado de celulosa creció en un 14% promedio anual entre 1990 y 2000, alcanzando 1,8 millones de toneladas en el año 2002. (INFOR, 2002).

En las últimas décadas el sector forestal chileno ha experimentado un constante desarrollo, en especial el subsector de la celulosa y el papel, llegando a exportar durante el año 2003 un total de 2.524 millones de dólares FOB, valor que representa cerca del 12% de las exportaciones totales del país. Los principales productos exportados son: pulpa blanqueada de pino (25%), pulpa blanqueada de eucalipto (7,7%), madera aserrada de pino (7,4%), pulpa cruda de pino (6,3%), molduras sólidas de pino (6,0%), papel periódico (5%), astillas s/c de eucalipto (4,8%), otros (37,9%). En particular, las pulpas químicas participan con un total de 863,2 millones de dólares FOB, es decir, cerca del 40% del valor exportado por este sector (INFOR, 2003).

En el ámbito latinoamericano Chile es un importante productor de pulpas de madera. Durante el año 2002 se produjeron 409.200 toneladas de pulpa mecánica y 2.278.200 toneladas de pulpas químicas, estas últimas provenientes del proceso Kraft, lo que hace un total de 2.687.400 toneladas métricas. De este total se exportaron 2.152.000 toneladas, un 80% de la producción total, equivalentes a US\$ 821,2 millones FOB. Por otra parte, la producción total de pulpas químicas del año 2002 se divide en 1.724.900 toneladas de pulpa de fibra larga (Pino radiata) y 553.300 toneladas de pulpa de fibra corta (Eucalipto). Las empresas más importantes en este rubro son Celulosa Arauco y Constitución S.A. y empresas CMPC (INFOR, 2003).

En varios países del mundo el abastecimiento de la industria de pulpa y papel está basado en plantaciones del género *Eucalyptus*, siendo Australia, Brasil, República de Sud África, España y Portugal los países en donde se hace un mayor uso de estas especies (Prado y Barros, 1991). En Chile, el empleo de madera de *Eucalyptus* en la producción de pulpa ha tenido un incremento sostenido en el tiempo, llegando a ser de 1,836 millones de m³ ssc durante el año 2002, valor que representa el 23,07% del consumo total de madera por parte de esta industria (INFOR, 2003).

2.2 *Eucalyptus nitens*.

2.2.1 Antecedentes generales.



Nombre común: Eucalipto.
Nombre científico: *Eucalyptus nitens*.
Género: Eucalyptus.
Clase: Angiospermas
Subclase: Dicotiledóneas.
Familia: Mirtaceae.

Durante el año 2000, existen 187 millones de hectáreas de plantaciones de bosques a nivel mundial de las cuales 18,7 millones de hectáreas corresponden al género *Eucalyptus* ssp abarcando más de 700 especies distintas ubicadas principalmente en Australia, Indonesia, Nueva Zelanda, Portugal, España, Brasil, Uruguay y Chile entre otros y con proyecciones de seguir incrementando hasta el 2020, (INFOR, 2005).

Existen en el género más de 500 especies, originarias de Australia y de algunas islas cercanas, encontrándose variadas formas y tamaños dada su amplia distribución natural y gran número de especies. En particular, *Eucalyptus nitens* es originario del sudeste de Australia y Tasmania (Prado y Barros, 1991), éste ha demostrado tener un rápido crecimiento de aproximadamente 30 a 45 m³/há/año. (Gorrini *et al*, 2004). En comparación a los 20 a 25 m³/ha/año presentado por el *Eucalyptus globulus*. Prueba de ello es que Australia cuenta con notables avances en mejoramiento genético de *Eucalyptus nitens*, para potenciar características pulpables. (Diario Pyme, 2005).

La introducción de *Eucalyptus nitens* en Chile fue realizada en 1962 en parcelas experimentales del Instituto Forestal (INFOR,2005). Actualmente, las plantaciones de *Eucalyptus nitens* llegan a 376.786 ha.

En este contexto, los empresarios destacan la importancia de que Chile acelere el proceso de conformación de un patrimonio de plantaciones de *Eucalyptus nitens* bajo manejo forestal que permita ofertar lo antes posible un volumen sostenido de madera de alto valor. (Diario Pyme, 2005).

2.2.2 Propiedades físicas y morfológicas.

Ante el planteamiento que la menor densidad del *Eucalyptus nitens* hace que su uso no sea adecuado para el pulpaje, los estudios demuestran que aún cuando los rendimientos pulpables volumétricos de *Eucalyptus nitens* en la producción de celulosa puedan ser algo menores que los del *Eucalyptus globulus*, esta especie puede suplir la diferencia con mayores crecimientos y ocupando superficies donde el *Eucalyptus globulus* no puede crecer, esto se debe a que gracias a su estructura anatómica es muy resistente a condiciones adversas climáticamente, por ende, la supervivencia a través del tiempo es óptima en zonas no tropicales.

Los hechos están a la vista; hoy existen en Chile plantas de celulosa que están trabajando con *Eucalyptus nitens*, como Arauco de CELCO y Santa Fe de CMPC, ambas empresas trabajan en proyectos de nuevas plantas y ampliaciones en diseño para trabajar con 100% *Eucalyptus nitens*. En poco tiempo, el 50 o 70% de la producción de celulosa de fibra corta se prevé será aportado por *Eucalyptus nitens*. (INFOR, 2005).

La densidad de esta especie depende de la zona geográfica en donde se ha desarrollado y principalmente la edad, tal como se aprecia en el cuadro 1.

Cuadro 1: Tendencia de la densidad en *Eucalyptus nitens*.

| <i>Eucalyptus nitens</i> | 5 años | 8 años | 11 años | 12 años |
|---------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Densidad kg/ m ³ | 430 | 447 | 448 | 490-510 |

Fuentes: (Reyes, 2005; Halabí *et al*, 2005; Gorrini *et al*, 2004).

La proporción de vasos existentes en *Eucalyptus nitens* a medida que aumenta su edad, es de 50% a partir de la altura comercial, esta variación afecta en el proceso de pulpaje ya que mientras mayor sea el número de vasos mejor será la penetración del licor en el pulpaje kraft, por el contrario un bajo espesor de pared de las fibras incide en un colapso de las fibras. Esto radica en qué, a un mayor crecimiento del árbol, el diámetro del vaso se incrementa, esto hace que la madera en si sea más permeable, (Peter *et al*, 1998).

En el pulpaje kraft, el uso de latifoleada da un resultado óptimo, sin embargo en el proceso de impregnación y penetración del licor en las astillas se presentan dificultades debido a la densidad y presencia de tilídes las cuáles provocan un taponamiento de los vasos haciendo muy dificultosa la penetración del reactivo, esto se ve reflejado que al existir tilosis, la madera pierde alrededor de un 99% de su permeabilidad. (Peter *et al*, 1998).

El color más claro del *Eucalyptus nitens*, provoca que su pulpa sea por ende más clara, esto es favorable económicamente por que se utilizará menor cantidad de reactivos al blanquear la pulpa. (Halabí *et al*, 2005).

Por las características fibrilares del *Eucalyptus nitens*, se observa visualmente en la pulpa un mayor grado de esponjamiento y suavidad de la fibra como también en el grado de opacidad, lo que indica mejores aplicaciones en papeles tissue e impresión y escritura como producto elaborado con esta fibra. (Reyes, 2005).

2.2.3 Propiedades químicas.

Con respecto a las propiedades químicas del *Eucalyptus nitens*, presenta niveles superiores de lignina frente a otros *Eucalyptus* tal como se aprecia en el cuadro 2, lo que afectaría al rendimiento pulpable obligando a aumentar el tiempo de cocción (reducción en la pulpa producida) y el consumo de reactivos de blanqueo. (Peredo, 2005).

Cuadro 2: Tendencia de contenido de lignina en diferentes *Eucalyptus*.

| Eucalyptus de 11 años | Lignina %bmsle |
|------------------------------|-----------------------|
| <i>E. nitens.</i> | 29,0 |
| <i>E. maidenii.</i> | 28,8 |
| <i>E. globulus.</i> | 27,4 |

Fuente:(Reyes, 2005).

Sin embargo, en latifoleadas, mientras mayor sea la razón S/G (siringilo/guayacilo) mejor es la reactividad de lignina y por ende más fácil la deslignificación de la madera, en este aspecto el cuadro 2 muestra con *E.nitens* presenta la mayor razón y por ende a pesar de contener más lignina esta es más reactiva.

Cuadro 3: Cantidad porcentual de lignina y Razón S/G, en diferentes especies de *Eucalyptus*.

| <i>Eucalyptus</i> | Razon S/G |
|---------------------|------------------|
| <i>E.nitens</i> | 4,7 |
| <i>E.globulus</i> | 3,3 |
| <i>E.urograndis</i> | 2,5 |
| <i>E.grandis</i> | 2,9 |
| <i>E.urophylla</i> | 2,4 |

Fuente:(Reyes, 2005;Colodette, 2003).

El determinar la cantidad de pentosanos, significa determinar el grado de pérdida de hemicelulosa durante la cocción. En el *Eucalyptus* el contenido de pentosano con la altura indica que la madera de zona apical sometida a pulpaje kraft presenta menores rendimientos clasificados y propiedades de resistencia de la pulpa debido a que las hemicelulosas son más propensas a degradarse durante la cocción, y en caso contrario en que se logren retener en la pulpa las hemicelulosas, el rendimiento clasificado y las propiedades deberán incrementarse, es decir, que al pulpear madera de zona apical de *Eucalyptus nitens* se obtendrán mayores rendimientos y mejores propiedades de resistencia de la pulpa.

2.3 Proceso kraft.

El proceso kraft, consiste en la cocción desarrollada en un digestor que convierte astillas de madera en fibra de celulosa o pulpa. Producto de la reacción entre la lignina presente en la madera y los reactivos químicos incorporados, esta reacción permite separar la lignina de la fibra de celulosa; para ello se utiliza una solución de agua con hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na₂S), denominado licor blanco.

Al comenzar el ciclo de pulpaje, en la etapa de impregnación, el digestor es alimentado con astillas y licor blanco. Enseguida se agrega vapor, en volumen y temperatura, de acuerdo a los niveles de operación establecidos, de modo de alcanzar los rangos de presión requeridos por el proceso, para que se produzca el pulpaje y penetración de reactivos químicos de forma homogénea sobre la astilla ya que si esto no se produce la pulpa resulta afectada con un menor rendimiento clasificado, un mayor rechazo y una deslignificación deficiente. Posteriormente en la etapa de lavado se elimina todo el reactivo residual (el agua permite la eliminación del sodio de la pulpa recién cocida), y finalmente se retira la pulpa. (Libby, 1967).

Durante el proceso de pulpaje, se elimina la lignina desde la lámina media y secundaria lo que permite individualizar y flexibilizar las fibras respectivamente.

En el proceso de pulpaje kraft queda un licor residual llamado licor negro, el cual está compuesto principalmente de agua, materia orgánica proveniente de la degradación de la hemicelulosas y lignina solubilizada, extraíbles y materiales inorgánicos provenientes de los reactivos químicos utilizados en el proceso de cocción, en resumen, el licor negro esta compuesto principalmente de C, H, S, Na y Na+O₂.(Melo, 1988).

La lignina de gimnospermas (maderas blandas), está formada mayoritariamente por unidades de tipo guayacilo, mientras que la lignina de las angiospermas leñosas (maderas duras) está formada por unidades guayacilo y siringilo. Esta alta proporción de unidades derivadas del alcohol sinapílico en las maderas duras determina la estructura y características de este tipo de lignina, ya que la presencia de los dos grupos metoxilo en posiciones 3 y 5 del anillo aromático reduce la formación de enlaces tipo éter y sobre todo los enlaces C-C, lo que se traduce en una reducción del grado de polimerización y en un menor grado de condensación. De esta forma las maderas duras son más fáciles de deslignificar que las maderas blandas. (Hernández, 1997).

Las ligninas se dividen en dos tipos de acuerdo con sus elementos estructurales.

- Lignina guayacilo: producto de la polimerización del alcohol coniferílico, encontrada en latifoleadas y coníferas. El alcohol coniferílico da lugar a las unidades guayacilo (unidades G) el cual presenta un grupo metoxilo en la posición 3 del anillo aromático
- Lignina siringilo: producto de la polimerización del alcohol sinapílico, encontrada en latifoleadas. (Mariani, 2000) unidades siringilo (unidades S) este presenta dos grupos, metoxilo en posiciones 3 y 5 de dicho anillo.

A su vez la lignina es descrita como un compuesto altamente heterogéneo, sus componentes y su reactividad depende en el caso de latifoleadas de la razón S/G (siringilo, guayacilo) (Casey, 1990).

El número Kappa determina el grado de deslignificación de la pulpa, midiendo el contenido de lignina remanente en la pulpa y es un indicador directo de la calidad de la pulpa de la celulosa que se fabrica. Este número indica que a menor número Kappa existe una mayor deslignificación y por ende menos lignina remanente en la pulpa. Sin embargo cuando se utiliza este método con pulpa de latifoleada hay que tener presente que este corresponde a la suma de lignina remanente y ácidos hexenurónicos.

Los ácidos hexenurónicos (Ahex); son formados durante el proceso kraft debido a la reacción de las cadenas de xilanas durante el proceso kraft de producción de pulpa estos se producen bajo condiciones de alcalinidad, a partir de ácidos metilglucurónicos. La madera de eucalipto son fuentes de estos ácidos, debido al alto contenido de xilanas de la pared secundaria S₁ de la fibra.(Gomide, 2003; Petit, 2005)

Los ácidos hexenurónicos influyen en el número Kappa ya que absorben una fracción de uno de los compuestos químicos (permanganato de potasio), que se utiliza para ésta determinación, lo cual incide en el resultado, arrojando un valor que no corresponde a sólo la lignina remanente en la pulpa. Esta influencia permanece en procesos posteriores como el blanqueo con dióxido de cloro.

Estos ácidos pueden ser seleccionados y removidos a través de un tratamiento de hidrólisis ácida, para esto se necesitan condiciones constantes de pH, temperatura y consistencia. Otra metodología es efectuar etapas con dióxido de cloro a alta temperatura y la última opción es realizar una etapa de blanqueo con una solución de ácido peroximonosulfúrico, ácido altamente reactivo con los ácidos hexenurónicos, la celulosa y lignina.

2.4 Aditivos.

2.4.1. Antraquinonas.

La utilización de antraquinona (AQ) en pulpaje kraft se conoce desde los años 80, la cual incrementa los rendimientos pulpables manteniendo la deslignificación o incrementando la deslignificación para un rendimiento pulpable definido.

El descubrimiento de la antraquinona como aditivo abrió nuevas oportunidades tecnológicas, puesto que es el primer aditivo realmente eficaz y de valor práctico, tanto en el ámbito industrial como comercial en procesos alcalinos, la antraquinona causa una oxidación del grupo reductor terminal de los carbohidratos, esto genera una estabilidad en cuánto a las reacciones de polimerización terminal, produce una estabilización de los carbohidratos, evitando que sufran la reacción de peeling, este equilibrio incide en un aumento en el rendimiento. Por otra parte, la antraquinona causa sobre la lignina una aceleración de las reacciones de hidrólisis formando fragmentos de lignina de menor peso molecular, lo que se refleja en un aumento en la tasa de deslignificación.(Blain, 1993; Da Silva *et al*, 2000).

La antraquinona es una pasta orgánica de color amarillo y que se utiliza como catalizador de procesos químicos de pulpaje. Con fórmula molecular $C_{14}H_8O_2$, de peso molecular igual a 208,23 g/gmol, con una densidad de 1,438 g/cm³ y temperaturas de fundición y ebullición de 286 °C y 378,8 °C respectivamente. (Blain, 1993).

El mecanismo de reacción que provoca la antraquinona es que las cadenas de hidratos de carbono reaccionan con la antraquinona para llevarla a su forma reducida (antrahidroquinona) y estos pasan a su forma oxidada logrando así su estabilización frente a la degradación.

Esta forma reducida de la antraquinona (HAQ) reacciona posteriormente con unidades lignicas no solubles rompiendo las uniones de la lignina en medio alcalino y a alta temperatura, pasando estas a su forma reducida y la antrahidroquinona de nuevo a su forma oxidada, o sea antraquinona, completando así el ciclo de oxido-reducción.(Fleming *et al*, 1978; Lachenal, 1980).

El agregar antraquinonas al proceso kraft otorga ventajas como:

- Incrementa la deslignificación.
- Acelera el proceso de pulpaje.
- Reduce la contaminación ambiental, pues permite reducir la carga de sulfidez.

El aumento del rendimiento por la antraquinona se usa para:

- Producir más pulpa.
- Disminuir el consumo de madera.
- Disminuir número Kappa sin aumentar carga a la caldera de recuperación.

(Blain, 1993; Gomide, 2003).

La antraquinona es de alto precio, sin embargo la eficiencia de esta es de tan alto rango que permite reducir los costos anuales de producción de las industrias y su costo se compensa. (Blain y Holton, 1998).

Estudios demuestran que la adición de AQ reduce las emanaciones gaseosas de compuestos sulfurados, más conocidos como TRS (metilmercaptanos o total reduced sulphur). A su vez el aumento del rendimiento en la pulpa se debe a que preserva la integridad de la fibra, y acelera la velocidad de reacción del pulpaje alcalino, esto permite reducir la sulfidez, es decir, la polución que genera la industria de celulosa baja y contribuye a la disminución de la contaminación ambiental. (Blain, 1993).

Comparativamente según los resultados evaluados en proceso kraft con antraquinona y sin antraquinona sobre la base de número Kappa 15, se observa los siguientes efectos.

Los rendimientos clasificados sin antraquinona = 53.1%.

Los rendimientos clasificados con antraquinona = 54.9%.

Esta diferencia de rendimientos de 1.8 puntos en la cocción con AQ, significa que la adición de antraquinonas al pulpaje, da un mayor porcentaje de fibras individualizadas óptimas para la posterior fabricación del papel. (Reyes, 2005).

La utilización de AQ, en la industria de celulosa produce un aumento de rendimiento, menor producción de sólidos, licor negro y reducción de número Kappa.

La adición de AQ, también reduce significativamente la formación de CH_3SH e $(\text{CH}_3)_2\text{SH}$, para un número Kappa definido, debido a la aceleración de la tasa de deslignificación. (Silva *et al*, 2001).

2.4.2.SAQ.

El SAQ, es un aditivo surfactante, el cuál al entrar en contacto con la astilla mejora la penetración del reactivo, pero dado que también contiene antraquinona esta provoca una menor degradación de la celulosa e incrementa la velocidad de deslignificación.

Los surfactante, son productos que modifican la tensión superficial de los líquidos, por lo que mejoran su penetración en sustratos porosos.

El fundamento de adicionar al proceso estos aditivos es para determinar cual proporciona una mejor deslignificación con una degradación mínima de la celulosa y carbohidratos, la función de cada tipo de aditivo se presenta en forma sintetizada en el cuadro 4.

Cuadro 4: Función de cada tipo de aditivo en el pulpaje kraft.

| ADITIVO | FUNCION |
|-----------------------------------|---|
| (AQ) Antraquinona | Proteger carbohidratos, aumentar velocidad de deslignificación |
| (SAQ) Antraquinona + surfactante. | Proteger carbohidratos, aumentar velocidad de deslignificación e incrementan la penetración de licor blanco en las astillas |
| (P242) Surfactante. | Incrementan penetración de licor blanco en las astillas. |

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.1 Materiales.

3.1.1 Madera.

La materia prima para desarrollar el estudio son astillas industriales las cuales se obtiene de *Eucalyptus nitens*, provenientes de Celulosa Arauco y Constitución S.A. , Planta Valdivia.

3.1.2 Aditivos.

Los aditivos fueron proporcionados por empresas, que comercializan los productos en Chile y se denominan como sigue:

- Antraquinona (AQ1)
- Mezcla de AQ y surfactante (SAQ).
- Surfactante, (P242).

Cada aditivo se utilizará en dos niveles de carga 0,05% bms y 0,1% bms, basándose en las cargas más factibles de utilizar industrialmente. Además se toma como muestra testigo una pulpa obtenida sin aplicación de aditivo (carga 0 de aditivo).

3.1.3 Normas y equipos.

Las normas usadas durante el desarrollo del estudio de pulpaje y en la posterior medición de viscosidad y blancura se presentan en el cuadro 5:

Cuadro 5: Normas utilizadas para la medición de parámetros.

| | |
|------------------|------------------|
| Densidad | Tappi T258 om-94 |
| Humedad | Tappi T258 om-94 |
| Consistencia | Tappi T240 om-93 |
| N° Kappa | Tappi T236 om-99 |
| % sólidos | Tappi T650 om-93 |
| Álcali consumido | Tappi T260 om-93 |
| Viscosidad | Tappi T218 sp-97 |
| Blancura | Tappi T218 sp-97 |

Todos los pulpajes se realizan por triplicado en digestor M/K System con recirculación de licor cuya capacidad es de 6,7 litros.

Para desintegrar las astillas procedentes del pulpaje kraft, se utiliza desintegradores General Electric y para obtener pulpa clasificada y rechazo se utiliza clasificadores de fibra Allis-Chalmers. Para las medir consistencia se usa un agitador de pulpa Lightnin cuya velocidad de giro es de 2.850 r/min.

3.2 Método.

3.2.1 Obtención de pulpa.

A las astillas industriales recibidas en laboratorio se les realiza análisis de densidad y humedad. La pulpa kraft se obtiene con digestor M/K System, el cual se carga con 600g de astillas de *Eucalyptus nitens*, y son sometidas a las siguientes condiciones de pulpaje constantes que se indican en el cuadro 6, para obtener pulpa kraft cruda con número Kappa 15 ± 2 .

Cuadro 6: Condiciones constantes a utilizar durante el pulpaje kraft de *E.nitens*.

| Parámetros de cocción | Condiciones. |
|---------------------------------------|---------------------|
| Carga de madera seca (g) | 600 g. secos |
| Carga de álcali (% bms) _{ox} | 14 |
| Razón licor /madera | 4:1 |
| Sulfidez % | 30. |
| Temperatura máxima °C | 165 |
| Tiempo hasta T° máxima (min.) | 120 |
| Tiempo a T° máxima (min.) | 16 |

La adición de los aditivos al pulpaje, se realiza mediante la transformación del porcentaje a agregar de cada aditivo a gramos, posteriormente se pesa lo necesario en un platillo de vidrio, vertiendo el contenido en el flujo de recirculación del digestor justo al comenzar la recirculación de licor con astillas previamente cargadas en el canastillo del digestor.

Una vez terminado el ciclo de pulpaje, las astillas deslignificadas se someten a un proceso de agitación para la individualización de fibras, en agitadores de pulpa Lightnin. Luego se procede al lavado de pulpa con agua fría en circulación, posteriormente se clasifica en clasificadores de pulpa Allis-Chalmers de donde se obtiene pulpa clasificada y rechazo, los cuales son cuantificados en porcentaje de base de madera seca (%b.m.s).

A la pulpa clasificada se somete a análisis de número Kappa, viscosidad y blancura.

El licor negro obtenido del digestor, es enfriado en un condensador por medio de un chorro de agua fría y se divide para los distintos análisis. (% de sólidos y álcali consumido).

3.3 Análisis de resultados.

Para interpretar los resultados obtenidos se les someten a un análisis de varianza para comparar las medias de tratamiento de análisis de varianza (ANOVA).

Si las pruebas estadísticas realizadas por el análisis de varianza muestran diferencias significativas entre los niveles (cargas de antraquinonas) y los factores de formulación de antraquinona se buscan comparaciones múltiples entre ellos.

3.3.1 Diseño experimental.

Se realizan pulpajes kraft por triplicado para cada una de las cargas y aditivos, incluyendo un triplicado para los pulpajes testigos, lo cual hace un total de 21 pulpajes, los factores se indican en el cuadro 7, esto permite efectuar un análisis que presenta un cuadro de carácter descriptivo, que contiene el número de observaciones, valores mínimos, medios, máximos, desviación estándar y el coeficiente de variación (%), de la variable respuesta según factor e interacción. Los promedios por factor e interacción se presentan en forma gráfica.

Cuadro 7: Diseño factorial con 3 niveles y 2 factores.(Morales,2005).

| Factores. | |
|-----------|---------|
| CARGA | ADITIVO |
| 0 | AQ |
| 0,05 | SAQ |
| 0,1 | P242 |

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

donde:

y_{ijk} = Es la variable respuesta, en la k-ésima observación en el i-ésimo nivel del factor carga, y el j-ésimo nivel del factor aditivos.

μ = Es el efecto medio del ensayo, en la variable respuesta.

τ_i = Es el efecto del *i-ésimo nivel del factor A (carga)*.

β_j = Es el efecto del *j-ésimo nivel del factor B (aditivo)*.

$\tau\beta_{ij}$ = Es la interacción del efecto del *i-ésimo nivel del factor A (carga)* por el *j-ésimo nivel factor B (aditivo)*.

e_{ijk} = Es el error.

3.3.2 El análisis inferencial.

El análisis inferencial permite realizar inferencias respecto a la población de interés, de acuerdo a un cierto grado de significancia estadística, este se realiza mediante el análisis de varianza (ANOVA), que permite comparar si los tratamientos afectan de igual manera a la variable respuesta.

Se comprobaron los supuestos de normalidad para cada tratamiento (Test de Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianza entre tratamiento (Test de Levene al 95% de confianza), si al menos un supuesto no se cumple, se probaron las transformaciones: Logaritmo y raíz cuadrada, seleccionando aquella transformación que presente mejores valores de ajustes. Para, realizar las comparaciones múltiples se utilizó el test de Duncan al 95% de confianza. Las variables en % se transformaron a $\text{Arcoseno}\sqrt{\%}$ para normalizarlas.

Se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical. Analysis System) versión 6.11, para el análisis estadístico de los datos.(SAS,1987-1988).

3.3.3 Hipótesis.

Carga.

$H_0: \mu_0 = \mu_{0.05} = \mu_{0.1}$ No hay efecto de la carga en la variable respuesta.

H_1 : Al menos dos medias verdaderas de tratamiento, distintas

Aditivos.

$H_0: \mu_{AQ} = \mu_{P242} = \mu_{SAQ} = \mu_{TESTIGO}$. No hay efecto de aditivo en la variable respuesta.

H_1 : Al menos dos medias verdaderas de tratamiento, distintas

Interacción carga y aditivo.

$H_0: \mu_{0*testigo} = \mu_{0.05*AQ} = \dots = \mu_{0.1*SQ}$ No hay efecto de la interacción entre carga y aditivo en la variable respuesta.

H_1 : Al menos dos medias verdaderas de tratamiento, distintas

4. RESULTADOS.

4.1 Resultados de análisis de rendimientos con respecto a cargas y aditivos.

4.1.1 Rendimiento total.

El rendimiento total es referente a las fibras que se rechazan y a las que se clasifican por ende estos resultados deben ser tomados como una aproximación de lo que ocurre con cada uno de los aditivos y sus respectivas cargas para el pulpaje kraft de *Eucalyptus nitens*.

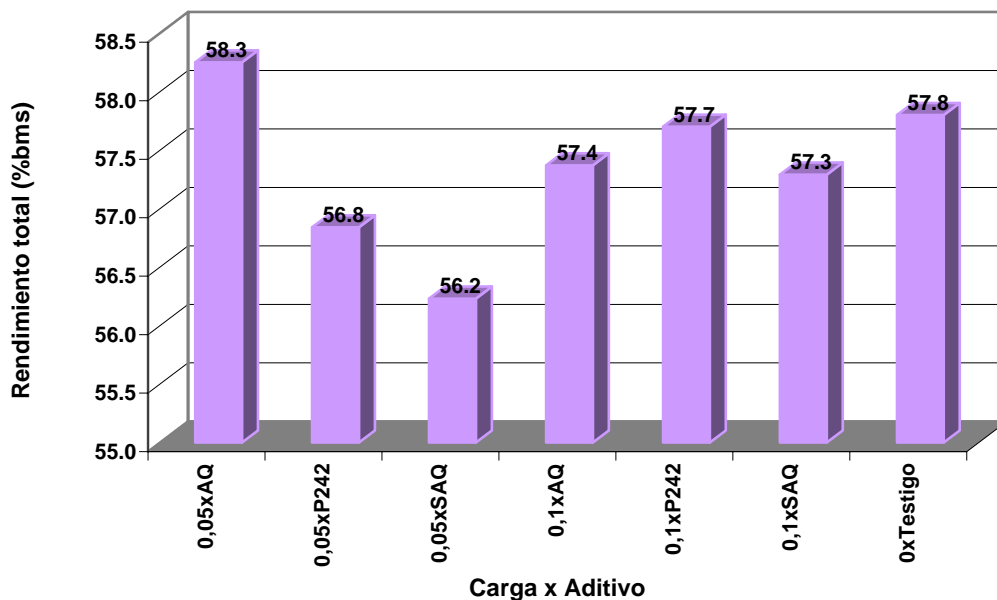


Figura 1: Rendimiento total de pulpa de *Eucalyptus nitens*.

El que el pulpaje testigo sea menor en su rendimiento total frente al tratado con AQx0,05, demuestra la efectividad de la AQ por sobre el testigo y los demás aditivos utilizados, lo cual se observa claramente en la figura 1.

Referente a las dos cargas utilizados de AQ, es un buen indicio que la menor carga (0,05%) arroja mejores resultados, ya que a menor carga, menos gasto en aditivos además se ve incrementado por el aumento de clasificado.

Para el rendimiento total no sería efectivo económicamente ni productivamente el utilizar SAQ*0,05, puesto que el rendimiento es inclusive menor al testigo.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el Arcoseno√Rendimiento total%.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|
| Carga | 2 | 0,00012 | 0,00006 | 0,34 | 0,715ns |
| Aditivo | 2 | 0,00033 | 0,00017 | 0,93 | 0,417ns |
| Carga x Aditivo | 2 | 0,00035 | 0,00018 | 0,99 | 0,396ns |
| Error | 14 | 0,00249 | 0,00018 | | |
| Total (corregido) | 20 | 0,00329 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05).

Tal como se aprecia en el cuadro 8, los resultados obtenidos de rendimiento total (%bms), indican que en el análisis inferencial no existe interacción entre carga y aditivo, con 5% de nivel de significancia (p-valor>0,05), sin embargo la variación en el pulpaje realizado con carga de 0,05% * AQ, presentan el mayor rendimiento con un 58,2%, frente a un 56,2% de 0,05% * SAQ. Esto 2 puntos de diferencia se deben a que la adición de antraquinona provoca en el pulpaje una protección de carbohidratos y un aumento de la deslignificación, esto se traduce asumiendo que las holocelulosas son protegidas presentando una proporción mayor de celulosa sin degradar.

El análisis de varianza reafirma la importancia que tiene la adición de estos reactivos en el pulpaje kraft respecto a sus cargas, ya que se refleja una notoria diferencia entre la carga y aditivo por separado, lo cual valida el proceder del estudio de tener una carga y un aditivo definido para cada pulpaje.

4.1.2 Rendimiento de Fibras Clasificadas.

El rendimiento clasificado, involucra las fibras individualizadas que pasan directo a la producción de papel o a etapas de blanqueo posteriores, vale decir que es éste análisis uno de los más incidentes cuando se apuesta por trabajar con aditivos en el pulpaje.

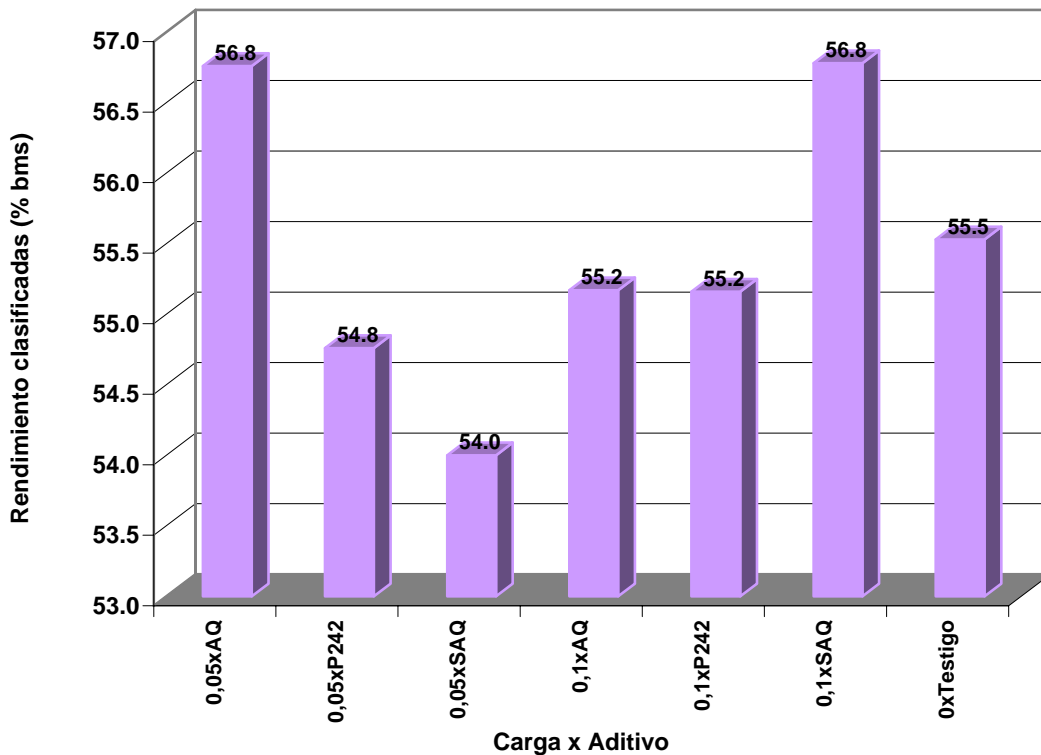


Figura 2: Rendimiento clasificada de pulpa de *Eucalyptus nitens*.

Aunque AQ*0,05 y SAQ*0,1 arrojaron igual rendimiento clasificado, tal como se aprecia en la figura 2, es más viable económicamente la utilización de AQ puesto que tiene un valor comercial menor a los otros dos aditivos.

Cuadro 9. Análisis de varianza para el Arcoseno√Rendimiento clasificadas %.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|
| Carga | 2 | 0,00012 | 0,00006 | 1,98 | 0,175ns |
| Aditivo | 2 | 0,00031 | 0,00016 | 5,12 | 0,022* |
| Carga x Aditivo | 2 | 0,00150 | 0,00075 | 24,55 | 0,000** |
| Error | 14 | 0,00043 | 0,00003 | | |
| Total (corregido) | 20 | 0,00237 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

* : Significativo al 95% de confianza (p-valor<0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

En el análisis de rendimiento de fibras clasificadas del cuadro 9, el efecto de interacción entre carga y aditivo al 1 % de nivel de significancia (p-valor>0,01) muestra que es altamente significativa.

Existe una diferencia entre el pulpaje del testigo y los pulpaje con aditivo independiente de la carga, en esta línea la incidencia entre las pulpas con 0,05* AQ y 0,1*SAQ, son más altas que la pulpa tratada con 0,05 * SAQ, tener 2,7 puntos de diferencia en tratamientos distintos es concluyente, esto se debe a que la adición de antraquinona tuvo una eficacia en cuanto a la protección de carbohidratos y es probable que existió una buena selectividad de lignina.

La adición de P242 no es significativa ya que con ninguna de las dos cargas presentó una mejoría en cuanto a su rendimiento clasificado, quedando en evidencia por estar debajo del rendimiento obtenido con el testigo.

Es importante recalcar que la adición de aditivo frente al testigo usado presenta diferencias significativas con un incremento de 55,5% a 56,8% cuando se agrega la menor carga de AQ (0,05% b.m.s), esto indica que la adición de antraquinona ha demostrado cumplir con los objetivos señalados (protección de carbohidratos e incremento en deslignificación).

4.1.3 Rendimiento de las fibras rechazadas.

El rendimiento de rechazo, identifica a los paquetes de haces de fibra que no fueron individualizados en el pulpaje. Este análisis resalta como esta funcionando el tiempo de cocción con respecto a la velocidad de deslignificación y la eficiencia de ésta.

Analizando la figura 3 se apreció que los menores rechazos se obtienen con AQ*0,05 y SAQ*0,1, sin embargo desde el punto de vista económica se debería optar por AQ.

El hecho que el pulpaje de 0,1*P242, entregue resultados de rechazos elevados comparativamente con el resto de los pulpajes se explica por que este aditivo sólo incrementa la penetración de licor blanco en las astillas, sin embargo no solo es importante la impregnación sino también la reactividad con la lignina.

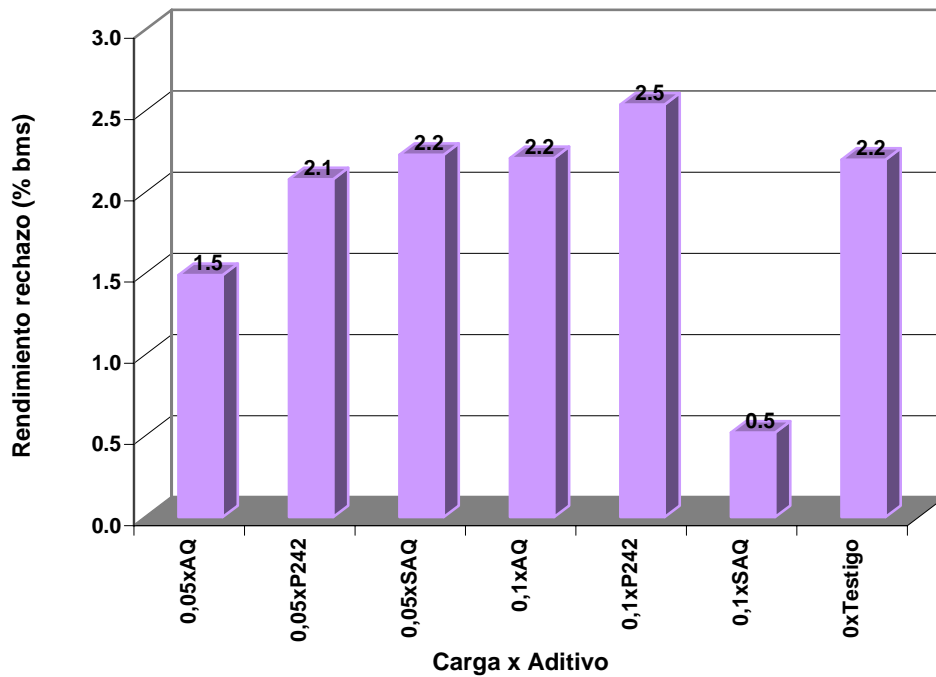


Figura 3: Rendimiento de fibras rechazadas de pulpa de *Eucalyptus nitens*.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el Arcoseno√Rendimiento rechazo %.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| Carga | 2 | 0,00099 | 0,00049 | 0,23 | 0,798ns |
| Aditivo | 2 | 0,00282 | 0,00141 | 0,65 | 0,536ns |
| Carga x Aditivo | 2 | 0,01076 | 0,00538 | 2,49 | 0,119ns |
| Error | 14 | 0,03027 | 0,00216 | | |
| Total (corregido) | 20 | 0,04483 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

El análisis del rechazo presentado en el cuadro 10 arroja, que no existe interacción entre Carga y Aditivo al 95% de confianza (p-valor>0,05), a pesar de esa conclusión estadística de igual forma existe una diferencia entre el testigo y las pulpas tratadas con 0,05%*AQ y 0,1%*SAQ, entre 0,7 a 1,7 puntos, esto se debe a que el SAQ protegió los carbohidratos (holocelulosa), aumenta la velocidad de deslignificación e incrementa la penetración de licor blanco en las astillas, es decir, existió una menor cantidad de haces de fibras rechazadas.

No es significativa la utilización de P242 en ambas cargas al igual que AQ*0,1y SAQ*0,05.

4.2 Resultados de respuestas de pulpa kraft clasificada respecto a cargas y aditivos.

4.2.1 Número *Kappa*.

Como se indicó anteriormente, este número está relacionado con la lignina remanente y los ácidos hexenurónicos presentes en la pulpa. El trabajar con un número *Kappa* 15 ± 2 como condición de pulpaje, ayudó a conocer como reaccionaba la lignina con los aditivos y cargas.

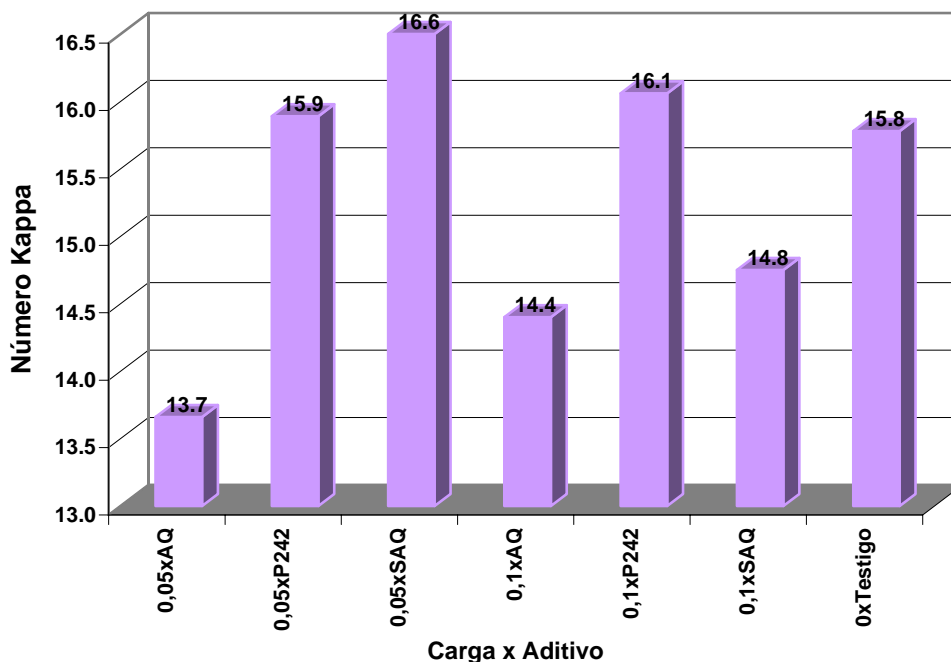


Figura 4 : Número *Kappa* de pulpa de *Eucalyptus nitens*.

Se puede aseverar que la mejor deslignificación que se produjo se liga con la adición de antraquinona en su menor carga (0,05% bms) y el número *Kappa* 13,7 comparado con 15,8 de la muestra testigo. Esta aseveración se basa en la investigación de diversos investigadores los cuales proponen que es un mecanismo catalítico, basado en pequeñas cantidades, inferiores a 0,1% en madera seca, necesarios para obtener una estabilización de las cadenas de hidratos de carbono y deslignificar más rápidamente. (Fleming *et al*, 1978).

Los resultados de rendimiento clasificado versus deslignificación indican que la AQ esta jugando el rol de catalizador, obteniéndose la lignina despolimerizada y soluble al mismo tiempo que habría una estabilización de los hidratos de carbono respecto a la degradación.

Es importante hacer notar que los demás aditivos utilizados en el pulpaje, en especial el p242 no tuvo efecto positivo sobre la deslignificación.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el Número Kappa.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 1,2183 | 0,6092 | 1,11 | 0,356ns |
| Aditivo | 2 | 13,1313 | 6,5657 | 12,01 | 0,001** |
| Carga x Aditivo | 2 | 5,5317 | 2,7659 | 5,06 | 0,022* |
| Error | 14 | 7,6511 | 0,5465 | | |
| Total (corregido) | 20 | 27,5325 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

* :Significativo al 95% de confianza (p-valor<0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

En el análisis de número *Kappa* que se presenta en el cuadro 11, existe una disminución del número *Kappa* de 15 a 13,6 con (0,05%*AQ), explica una baja en los rechazos como se observó en la figura 3 el rechazo de 1,4 puntos (0,05%*AQ). Esto indica que esta pulpa, con respecto a las demás tuvo un grado de deslignificación mayor, esto coincide con Gomide (2003), el cual asevera que el uso de antraquinona en el pulpaje provoca una disminución en el número *Kappa*.

A través del análisis de varianza se reafirma la influencia de como la adición de aditivos provoca diferencias altamente significativas en el grado de deslignificación dependiendo del tipo de aditivo.

4.2.2 Carga de álcali activo consumido.

La carga de álcali que se le adiciona al pulpaje es de importancia sustancial, ya que según la concentración del álcali, tendrá incidencia en la velocidad de eliminación de lignina además del costo en consumo de reactivo, por ende conocer el consumo que tuvo este en el proceso de pulpaje tiene reciprocidad con el grado de deslignificación, rendimiento clasificado y rechazo.

En la figura 5 se aprecia claramente que la adición de la menor carga de AQ provoca una reducción en el álcali consumido que repercute en el ahorro de reactivo, frente al pulpaje testigo.

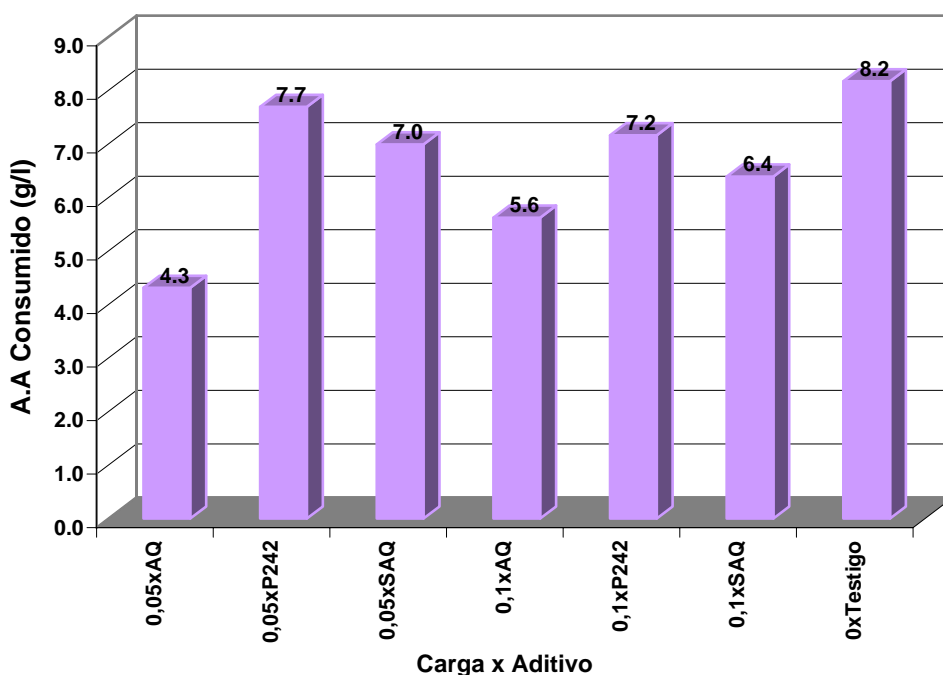


Figura 5: Consumo de Álcali Activo de pulpa de *Eucalyptus nitens*.

Cuadro 12. Análisis de varianza para el Álcali activo consumido.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|--------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| Carga | 2 | 8,45080 | 4,22540 | 33,39 | 0,000** |
| Aditivo | 2 | 19,15621 | 9,57811 | 75,68 | 0,000** |
| Carga x Aditivo | 2 | 3,50023 | 1,75012 | 13,83 | 0,001** |
| Error | 14 | 1,77173 | 0,12655 | | |
| Total (corregido) | 20 | 32,87898 | | | |

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

En el análisis de varianza de álcali consumido que se presenta en el cuadro 12 se aprecia que todos los efectos presentan un nivel de significancia del orden del 1%.

El hecho de adicionar aditivos al pulpaje hace bajar el nivel de consumo de álcali en 4 puntos respecto al testigo 8,2 g/l, lo cual provoca un ahorro en reactivo (licor blanco) además de que a un menor álcali consumido se obtuvo mayor rendimiento clasificado, menor rechazo y mayor deslignificación como se observó en las figuras 2,3 y 4 con la carga 0,05*AQ.

4.2.3 Viscosidad.

Esta expresa el grado de polimerización medio de la pulpa, es decir, es un indicador del grado de ataque a la cadena de celulosa que conforma la pulpa clasificada.

Como se aprecia en la figura 6 el efecto sobre la viscosidad de la pulpa no presenta ninguna correlación lógica, sin embargo todas son menores a la de la pulpa testigo.

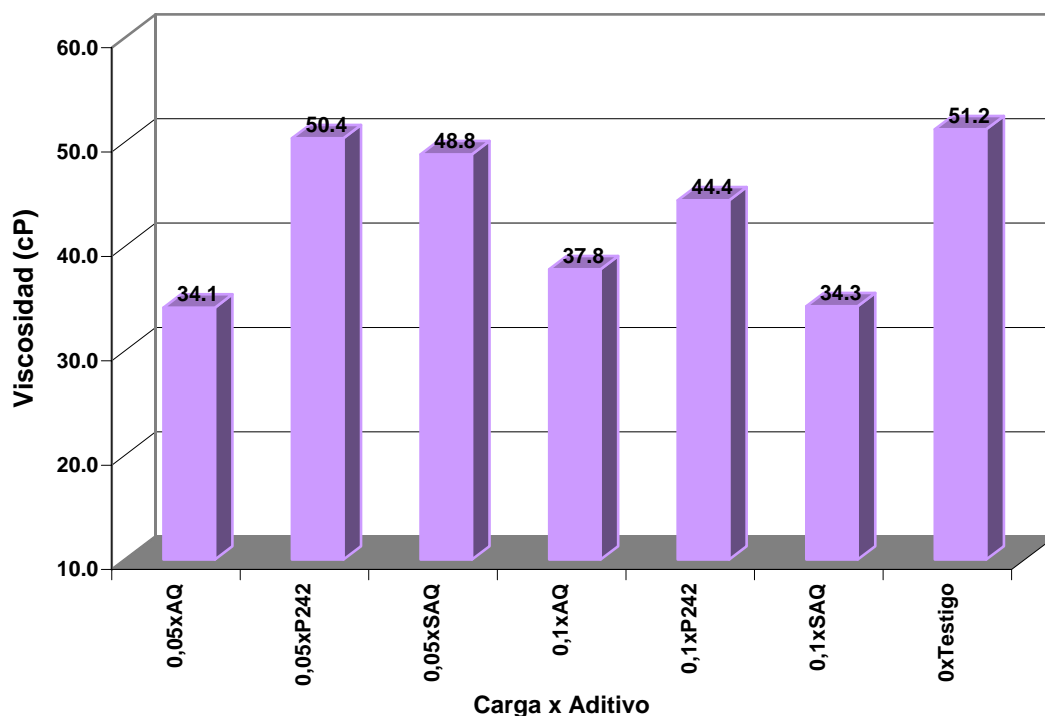


Figura 6: Viscosidad de pulpa de *Eucalyptus nitens*.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la Viscosidad promedio

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 385,895 | 192,948 | 3,04 | 0,040* |
| Aditivo | 2 | 1191,235 | 595,618 | 9,40 | 0,003** |
| Carga x Aditivo | 2 | 951,378 | 475,689 | 7,51 | 0,006** |
| Error | 14 | 887,190 | 63,371 | | |
| Total (corregido) | 20 | 3415,698 | | | |

* : Significativo al 95% de confianza (p-valor<0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

El comportamiento de la viscosidad, para los diferentes tratamientos utilizados, que muestra el cuadro 13 presenta un efecto altamente significativo en carga * aditivo y en aditivo por si solo con un 1% de significancia.

El análisis estadístico demuestra que la utilización de aditivos, en el pulpaje kraft de *Eucalyptus nitens*, independiente de cual sea el aditivo o carga provoca un descenso de la viscosidad, esto es por la mayor reactividad que logro la AQ con la lignina sobre el complejo L-C (lignina carbohidratos) se reaccionó en mayor medida y por ende existió una mayor ataque a la cadena de celulosa.

A pesar de estos resultados de reducción de viscosidad no podemos inferir nada sobre las propiedades de resistencia físico-mecánico, puesto que no existen correlaciones directas entre ellas.

4.3 Resultados de análisis de blancura de pulpa kraft cruda con respecto a cargas y aditivos.

4.3.1 Blancura.

Este análisis se basa en medir la reflectancia del papel bajo una sola longitud de onda. El blanco perfecto tendría un 100% de reflectancia a todas las longitudes de onda de la luz visible.

La adición de cualquier tipo de los tres utilizados en este estudio logró mayores blancuras, tal como se aprecia en la figura 7, respecto al testigo, lo cual es beneficioso puesto que esta incide en forma directa sobre la carga de reactivos de blanqueo en etapas siguientes, a menor carga que se requiera de reactivo de blanqueo incide en menor costo y menor generación de RILES.(Residuos Industriales líquidos) y menor costo en tratamientos de efluentes.

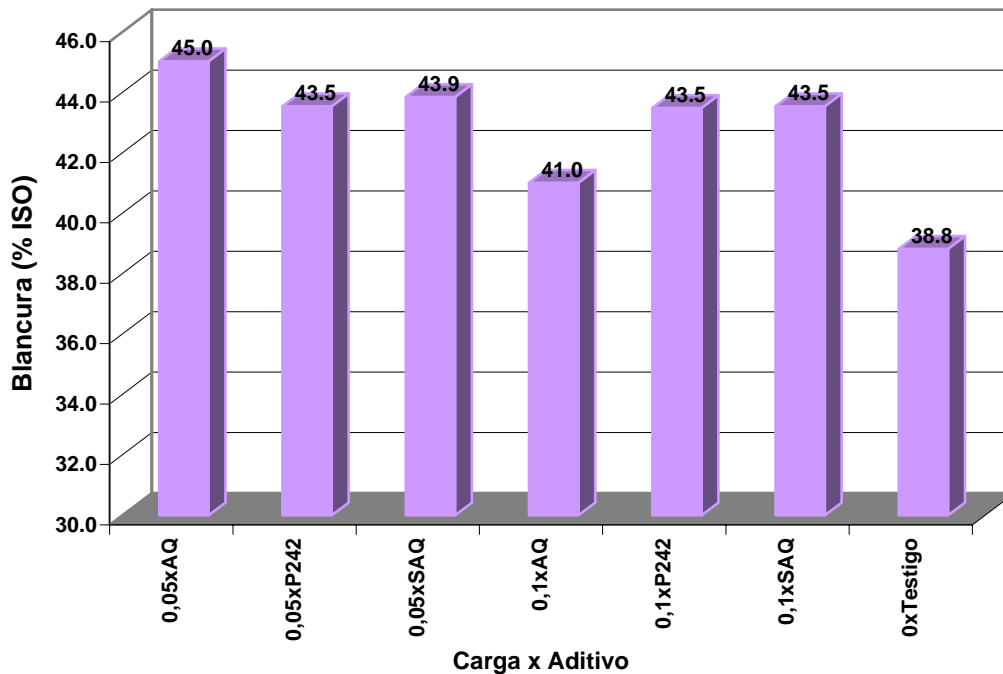


Figura 7: Blancura de pulpa de *Eucalyptus nitens*.

Cuadro 14. Análisis de varianza para la blancura.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|-----------|------------------|---------|---------|
| | | Cuadrados | | | |
| Carga | 2 | 63,817 | 31,908 | 14,09 | 0,000** |
| Aditivo | 2 | 1,453 | 0,726 | 0,32 | 0,731ns |
| Carga x Aditivo | 2 | 14,782 | 7,391 | 3,26 | 0,069ns |
| Error | 14 | 31,696 | 2,264 | | |
| Total (corregido) | 20 | 111,748 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

El análisis de blancura como se aprecia en el cuadro 14, realza la importancia de la carga de aditivos en el pulpaje kraft, en donde se obtuvo con un nivel de alta significancia al 99% de confianza (p-valor<0,01), esto no indica que los otros factores no tengan implicancia en el proceso.

El hecho de tener 7,2 puntos de diferencia en blancura es beneficioso en varios aspectos comenzando con un ahorro en productos químicos de blanqueo, la utilización de etapas de blanqueos mucho más cortas de las acostumbradas para pulpa kraft blanqueada. Comparativamente la incorporación de este aditivo frente a los otros aditivos es más económica, y a su vez el hecho que sea 0,05 la carga que presentó estas ventajas es un plus ya que es la carga más baja.

La carga de 0,05xAQ es la más determinante en la evaluación de blancura esto indica que no afecta la adición de este aditivo en su blancura muy por el contrario ayuda a tener una visión diferente en su resultado final.

4.4 Resultados de análisis comparativos con respecto a cargas y aditivos.

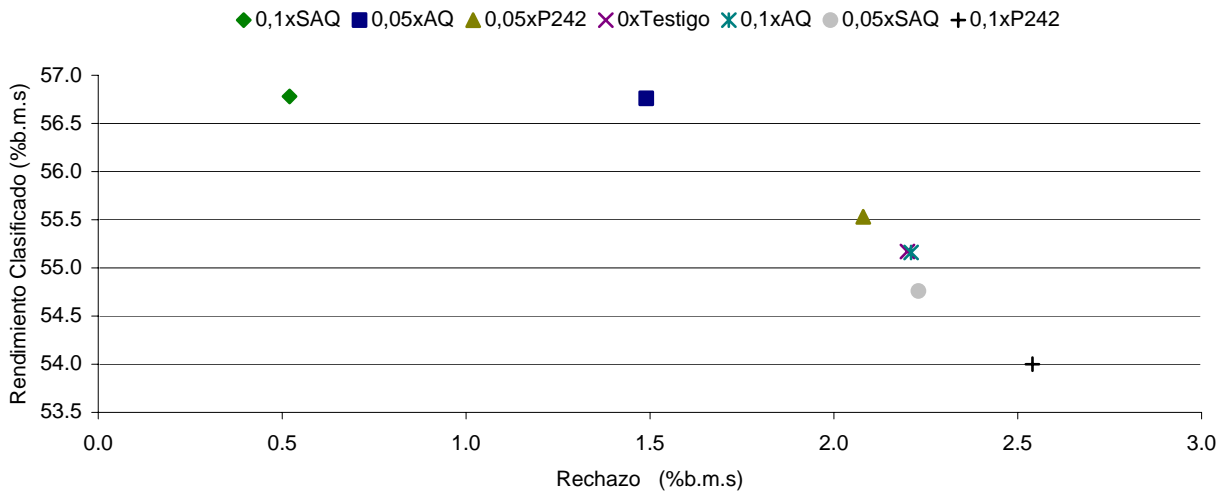


Figura 8: Rendimiento clasificado & Rechazo pulpa kraft de *Eucalyptus nitens*.

La figura 8 presenta la relación existente entre el mayor rendimiento clasificado de 0,1x SAQ y 0,05x AQ, frente a un menor rechazo de 0,5% y 1,5%, la elección en este caso se debería tomar desde el punto de vista económico pues el SAQ es de mayor costo que AQ y además se requiere mayor carga (0,1% bms), se elegirá AQ.

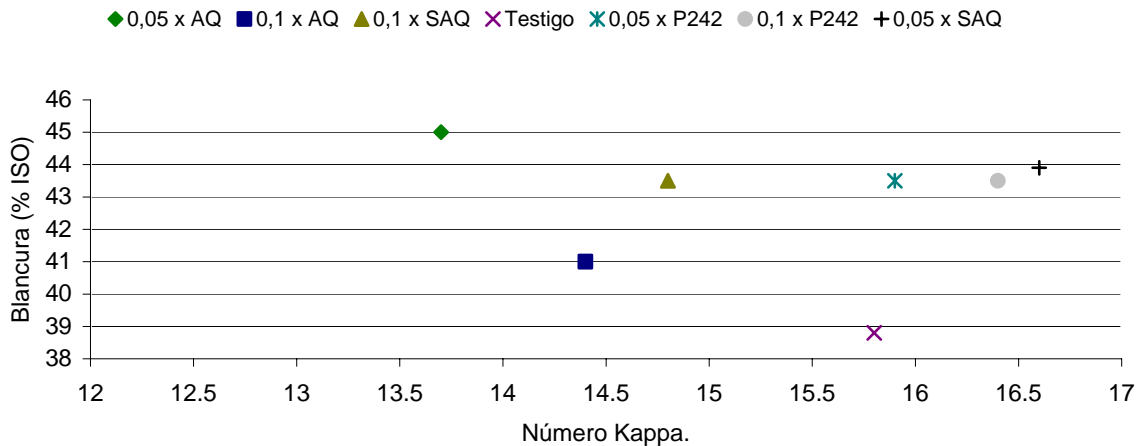


Figura 9: Blancura & número Kappa de pulpa kraft de *Eucalyptus nitens*.

La figura 9 expone la relación entre una mayor blancura % ISO, respecto a un menor número Kappa de carga x aditivo (0,05% x AQ), el análisis indica que claramente AQ en su menor carga proporciona los mejores resultados en el pulpaje kraft de *E.nitens*, para número de Kappa 15 ± 2 .

5. CONCLUSIÓN.

Las siguientes conclusiones se lograron en el presente estudio con relación al uso de Antraquinona (AQ), SAQ y P242, aditivos que se aplicaron al pulpaje kraft de *Eucalyptus nitens*.

La aplicación de aditivos con diferentes cargas en pulpaje kraft de *Eucalyptus nitens* frente a pulpajes testigos de *Eucalyptus nitens*, tiene una incidencia en el ámbito estadístico. Aún cuando en el caso del rendimiento total, rechazo y en blancura no se detectaron efectos significativos de la carga x aditivos, los resultados obtenidos mantienen una base en los posibles efectos de estos factores en las variables mencionadas.

Comparando las cocciones kraft-antraquinona y kraft-testigo, la adición de pequeñas cantidades de AQ (0,05% bms) al licor de cocción aumentan la velocidad de reacción, incrementándose en el rendimiento total y clasificado, reduciendo el rechazo, concentración de álcali consumido, deslignificación, viscosidad y por último un considerable aumento de la blancura.

La adición de surfactante (P242) no presenta beneficios en el rendimiento del proceso de pulpaje de pulpaje kraft, por lo que este aditivo no es viable en ninguna de las dos cargas usadas durante el estudio.

La adición simultánea de antraquinona y surfactante (SAQ) al proceso no presenta beneficios adicionales a los presentados por la antraquinona pura, lo logra solo en los resultados de rechazo pero utilizando la carga superior de 0,1% bms.

El nivel de AQ que produce un efecto significativo en los pulpajes es la carga menor 0,05% bms.

Finalmente, la aplicación de la antraquinona al proceso kraft se traduce en una aceleración de la deslignificación mejorando la selectividad y logrado 2,12 puntos porcentuales superior en rendimiento clasificado sujeto al testigo, menor rechazo en 0,8 puntos porcentuales respecto a su testigo, un menor álcali consumido con 3,9 puntos porcentuales respecto a su testigo y mayor blancura de 6,2 puntos de % ISO.

Recomendación: Para darle mayor validación de la que ya se comprobó en el presente estudio al uso de la carga de 0,05% bms de Antraquinona, se recomienda la medición y análisis de los papeles de pulpa kraft cruda de *Eucalyptus nitens* en pruebas de resistencia mecánicas.

6. BIBLIOGRAFIA.

Blain, T. 1993. Antraquinone pulping: Fifteen years later, Tappi Journal, 76(3): 137-146.

Blain and Holton, 1998. Economics of AQ pulping: The net value of increased production. Tappi Journal, 74(2): 21-37.

Casey, J. 1990, Pulpa y papel. Química y tecnología química 1ª ed. México editorial Limusina S.A. volumen 1.950 pág.

Colodette.J.L, 2003. The chemistry of eucalyptus Wood. Seminario “Producción de pulpa de eucalyptus”. Concepción 22 y 23 Octubre, 1-43.

Da Silva., Gomide., Carvalho de Oliveira., Fantuzzi. 2000. Adición de antraquinonas y reducción de sulfidez para reducción de emisiones atmosféricas. Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel CIADICYC .Iguazú, Misiones, Argentina 18 al 20 de Octubre.1-5.

Diario Pyme 22/12/2003.
<http://www.diariopyme.cl>.

Fleming, B., Kubes, G.,MácLeo, J and Bolker, M.1978. Soda pulping with Anthaquinone TAPPI, 61(6).43-46.

Gomide, J.S. 2003. Trends in eucalyptus wood pulping. Seminario “Producción de pulpa de eucalyptus”Concepción 22 y 23 Octubre, 1-16.

Gorrini, B., Poblete, H., Hernández, G.,Dunn. 2004. Tableros de partículas y MDF de *Eucalyptus nitens*: Ensayos a escala industrial. Revista Bosque, 25(3).89-97.

Halablí, F.,Sepúlveda. V., Quiñónez. 2005. Identificación de Especies de Eucalyptus. II Internacional Coloquium on Eucalyptus Pulp. Concepción 24-26 Mayo. 29-36.

Hernández, M. 1997. Decoloración de efluentes alcalinos de industrias papeleras por *Strptomyces* spp,: Aspectos químicos y enzimáticos. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. 93pp.

Infor. 2002.Disponibilidad de madera pulpable de Eucalipto en Chile 2001-2018.Informe Técnico N°163. Ed. Intituto Forestal, Santiago (Chile).30pp.

Infor. 2003. Superficie de Plantaciones Forestales. [en línea]
<<http://www.infor.cl>>Consulta: [1 de Junio de 2005].

Infor. 2005 estadísticas Internet.
http://www.infor.cl/webinfor/estadisticas_Forestales/estadisticas.htm.

Lachenal, D. 1980. Progres recents en la fabrication des pates. Centre Technique du Papier. Doc. N°975.

Libby, E. 1967.Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. 1º Edición Vol. 1. México. 519p. 175-300.

Mariani, S. 2000.Química de la madera: Conceptos Básicos y Reacciones. Publicación Docente N° 40. Universidad Austral de Chile.1-50.

Melo, R. 1988. Procesos de pulpaje 1ª ed. Concepción Universidad de Concepción 316 páginas.

Morales, E. 2005. Diseño experimental a través del análisis de varianza y modelo de regresión lineal, editorial Consultora Carolina, Valdivia (248 pág.).

Peredo, M. 2005.Clasificación de Maderas de Eucalyptus y predicción de Propiedades. Bioforest S.A. II Internacional Coloquium on Eucalyptus Pulp. Concepción 24-26 Mayo. 23-28.

Peter, Y.S., Guoquiang,C., Sambeek, J.W. 1998.Relationships among growth rate, vessel lumen area, and wood permeability for thee central hardwood species.Forest Products Journal 48, (3): 87-90.

Petit, X. 2005. Modelo cinético simplificado para la remoción de ácido hexenuronico presente en la pulpa kraft de *Eucalyptus*, utilizando una solución de ácido peroximonosulfúrico. II Internacional Coloquium on Eucalyptus Pulp.Concepcion 24-26 Mayo. 154-166.

Prado, J., Y Barros, S. 1991. Eucalyptus: Principio de Silvicultura y Manejo. Instituto Forestal. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago. Chile. 199p.

Reyes, J. 2005. Comportamiento del Eucalipto *nitens* como especie pulpable. CMPC Celulosa Planta Santa Fe. II Internacional Coloquium on Eucalyptus Pulp. Concepción 24-26 Mayo. 29-36.

SAS (1987). SAS/STAT Guide. Version 6 Edition. SAS Institute Inc. 1028 p.

SAS (1988). Procedure Guide. Release 6.03 Edition. SAS Institute Inc. 441 p.

Silva, F., Gomide, J., Colodette,L. 2001. Efeito da redução da sufidez, com adição de AQ, na emmissões poluentes e na qualidade da polpa kraft de eucalipto.34º Congresso anual de Celulose e Papel. Sao Paulo, Brasil. Outubro de 22-25. 1-15.

ANEXOS

ANEXO 1
Abstract

ABSTRACT.

The objective of this study is evaluate the effect that has the to adhere three different preservatives in several loads and observe if significant effects exist, depending on the type of preservative and load of the same in the application of these on the answers of the pulping kraft of *Eucalyptus nitens*, which is compared with pulping without preservative that is used like witness. The preservatives are Antraquinona (AQ), Surfactante mixture and anthraquinone (SAQ) and surfacthante P242 with loads of 0.1% bwd and 0.05% bwd. The answers to evaluate in the pulp they correspond to humilities, rejections, viscosity, whiteness and also consumption of reagent of pulping like alkali.

In order to carry out this study they are used industrial coming chips from Arauco Cellulose and S.A Constitution, Valdivia plant, the process of pulping it are carried out in laboratory of pulp and paper of the Southern University from Chile and the evaluation of whiteness is made bristol boards in laboratory of CMPC, Valdivia plant.

As for the experimental procedure, the answers are determined according to the procedures indicated in the TAPPI norms (Technical Association Pulp of and Paper Industry). The process of pulping kraft is carried out for triplicating and you/he/she/it undergo to conditions of constant cooking.

The obtained results are analyzed using an ANOVA analysis, for this the Excel software was used.

The addition of preservatives to the pulping affects the results of the pulping kraft of *Eucalyptus nitens* in significant form, due to the catalytic characteristics that possess this preservatives, you especially the preservative that presents the improve advantages regarding answers it correspond AQ in a minor load (0,05% bwd). Being old classified humility, minor rejection, old deslignificathion, old whiteness.

Key words: Pulp kraft, anthraquinone, surfactante, E.nitens.

ANEXO 2

Análisis estadístico.

1. Rendimiento total.
2. Rendimiento clasificado.
3. Rendimiento rechazo.
4. Número Kappa.
5. Alcali consumido.
6. Viscosidad.
7. Blancura.

1. Análisis Rendimiento total (%bms)

- Análisis descriptivo.

Cuadro 1a. Parámetros descriptivos para el Rendimiento total, según factor Carga.

| Factor: Carga | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0 | 3 | 56,91 | 57,80 | 58,64 | 0,864 | 1,5 |
| 0,05 | 9 | 54,65 | 57,11 | 59,63 | 1,619 | 2,8 |
| 0,1 | 9 | 56,15 | 57,45 | 59,42 | 1,054 | 1,8 |

Cuadro 1b. Parámetros descriptivos para el Rendimiento total, según factor Aditivo.

| Factor: Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| AQ | 6 | 56,68 | 57,81 | 58,70 | 0,877 | 1,5 |
| P242 | 6 | 54,65 | 57,27 | 59,63 | 1,972 | 3,4 |
| SAQ | 6 | 55,70 | 56,76 | 57,70 | 0,866 | 1,5 |
| Testigo | 3 | 56,91 | 57,80 | 58,64 | 0,864 | 1,5 |

Cuadro 1c. Parámetros descriptivos para el Rendimiento total, según Interacción: Carga x Aditivo.

| Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0,05xAQ | 3 | 57,94 | 58,25 | 58,70 | 0,398 | 0,7 |
| 0,05xP242 | 3 | 54,65 | 56,84 | 59,63 | 2,543 | 4,5 |
| 0,05xSAQ | 3 | 55,70 | 56,23 | 57,12 | 0,779 | 1,4 |
| 0,1xAQ | 3 | 56,68 | 57,37 | 58,63 | 1,089 | 1,9 |
| 0,1xP242 | 3 | 56,15 | 57,70 | 59,42 | 1,642 | 2,8 |
| 0,1xSAQ | 3 | 56,54 | 57,29 | 57,70 | 0,650 | 1,1 |
| 0xTestigo | 3 | 56,91 | 57,80 | 58,64 | 0,864 | 1,5 |

- Análisis inferencial

Del análisis de varianza para la variable: Arcoseno√Rendimiento total% se concluye que no existen diferencias significativas para el factor Carga y el factor Aditivo, es decir dentro de cada factor los promedios son iguales al 95% de confianza (p-valor>0,05). No existe interacción entre Carga y Aditivo 95% de confianza (p-valor>0,05).

Cuadro 1d. Análisis de varianza para el Arcoseno√Rendimiento total%.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 0,00012 | 0,00006 | 0,34 | 0,715ns |
| Aditivo | 2 | 0,00033 | 0,00017 | 0,93 | 0,417ns |
| Carga x Aditivo | 2 | 0,00035 | 0,00018 | 0,99 | 0,396ns |
| Error | 14 | 0,00249 | 0,00018 | | |
| Total (corregido) | 20 | 0,00329 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

Los ranking, son presentados a continuación:

Cuadro 1e. Ranking de tratamientos, para el Rendimiento total

| Lugar | Factor: Carga | Nº Obs. | Media |
|-------|---------------|---------|-------|
| 1 | 0 | 3 | 57,80 |
| 2 | 0,1 | 9 | 57,45 |
| 3 | 0,05 | 9 | 57,11 |

| Lugar | Factor: Aditivo | Nº Obs. | Media |
|-------|-----------------|---------|-------|
| 1 | AQ | 6 | 57,81 |
| 2 | Testigo | 3 | 57,80 |
| 3 | P242 | 6 | 57,27 |
| 4 | SAQ | 6 | 56,76 |

| Lugar | Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Media |
|-------|------------------------------|---------|-------|
| 1 | 0,05xAQ | 3 | 58,25 |
| 2 | 0xTestigo | 3 | 57,80 |
| 3 | 0,1xP242 | 3 | 57,70 |
| 4 | 0,1xAQ | 3 | 57,37 |
| 5 | 0,1xSAQ | 3 | 57,29 |
| 6 | 0,05xP242 | 3 | 56,84 |
| 7 | 0,05xSAQ | 3 | 56,23 |

1.2 Análisis Rendimiento clasificadas (% bms)

- Análisis descriptivo

Cuadro 2a. Parámetros descriptivos para el Rendimiento clasificadas, según factor Carga.

| Factor: Carga | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0 | 3 | 55,00 | 55,53 | 56,00 | 0,503 | 0,9 |
| 0,05 | 9 | 53,00 | 55,17 | 57,21 | 1,358 | 2,5 |
| 0,1 | 9 | 54,70 | 55,70 | 57,15 | 0,889 | 1,6 |

Cuadro 2b. Parámetros descriptivos para el Rendimiento clasificadas, según factor Aditivo.

| Factor: Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| AQ | 6 | 54,70 | 55,97 | 57,21 | 0,953 | 1,7 |
| P242 | 6 | 54,51 | 54,96 | 55,20 | 0,304 | 0,6 |
| SAQ | 6 | 53,00 | 55,39 | 57,15 | 1,688 | 3,0 |
| Testigo | 3 | 55,00 | 55,53 | 56,00 | 0,503 | 0,9 |

Cuadro 2c. Parámetros descriptivos para el Rendimiento clasificadas, según Interacción: Carga x Aditivo.

| Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0,05xAQ | 3 | 56,48 | 56,76 | 57,21 | 0,391 | 0,7 |
| 0,05xP242 | 3 | 54,51 | 54,76 | 55,13 | 0,327 | 0,6 |
| 0,05xSAQ | 3 | 53,00 | 54,00 | 55,00 | 1,000 | 1,9 |
| 0,1xAQ | 3 | 54,70 | 55,17 | 55,60 | 0,451 | 0,8 |
| 0,1xP242 | 3 | 55,07 | 55,16 | 55,20 | 0,075 | 0,1 |
| 0,1xSAQ | 3 | 56,10 | 56,78 | 57,15 | 0,587 | 1,0 |
| 0xTestigo | 3 | 55,00 | 55,53 | 56,00 | 0,503 | 0,9 |

- Análisis inferencial

Del análisis de varianza para la variable: Arcoseno√Rendimiento clasificadas%, concluimos que los promedios son iguales para el factor Carga (al 95% de confianza, p-valor>0,05). Promedios distintos para el factor Aditivo (al 95% de confianza, p-valor<0,05). Existencia de interacción entre Carga y Aditivo al 99% de confianza (p-valor<0,01).

Cuadro 2d. Análisis de varianza para el Arcoseno√Rendimiento clasificadas%.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 0,00012 | 0,00006 | 1,98 | 0,175ns |
| Aditivo | 2 | 0,00031 | 0,00016 | 5,12 | 0,022* |
| Carga x Aditivo | 2 | 0,00150 | 0,00075 | 24,55 | 0,000** |
| Error | 14 | 0,00043 | 0,00003 | | |
| Total (corregido) | 20 | 0,00237 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

* : Significativo al 95% de confianza (p-valor<0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

Las comparaciones múltiples y ranking, son presentados a continuación:

Cuadro 2e. Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos, para el Rendimiento clasificadas

| Lugar | Factor: Carga | Nº Obs. | Media |
|-------|---------------|---------|-------|
| 1 | 0,1 | 9 | 55,70 |
| 2 | 0 | 3 | 55,53 |
| 3 | 0,05 | 9 | 55,17 |

| Lugar | Factor: Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|-----------------|---------|-------|---------|
| 1 | AQ | 6 | 55,97 | a |
| 2 | Testigo | 3 | 55,53 | a b |
| 3 | SAQ | 6 | 55,39 | a b |
| 4 | P242 | 6 | 54,96 | b |

| Lugar | Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|------------------------------|---------|-------|---------|
| 1 | 0,1xSAQ | 3 | 56,78 | a |
| 2 | 0,05xAQ | 3 | 56,76 | a |
| 3 | 0xTestigo | 3 | 55,53 | b |
| 4 | 0,1xAQ | 3 | 55,17 | b |
| 5 | 0,1xP242 | 3 | 55,16 | b |
| 6 | 0,05xP242 | 3 | 54,76 | bc |
| 7 | 0,05xSAQ | 3 | 54,00 | c |

*: letras distintas indican diferencias significativas al 95% de confianza (p-valor<0,05)

1.3 Análisis para: Rendimiento rechazo (% bms)

- Análisis descriptivo

Cuadro 3a. Parámetros descriptivos para el Rendimiento rechazo, según factor Carga.

| Factor: Carga | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0 | 3 | 1,11 | 2,20 | 3,64 | 1,301 | 59,2 |
| 0,05 | 9 | 0,14 | 1,93 | 4,50 | 1,226 | 63,5 |
| 0,1 | 9 | 0,49 | 1,76 | 4,22 | 1,366 | 77,7 |

Cuadro 3b. Parámetros descriptivos para el Rendimiento rechazo, según factor Aditivo.

| Factor: Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| AQ | 6 | 0,92 | 1,85 | 3,43 | 0,916 | 49,6 |
| P242 | 6 | 0,14 | 2,31 | 4,50 | 1,762 | 76,3 |
| SAQ | 6 | 0,49 | 1,37 | 2,70 | 0,971 | 70,7 |
| Testigo | 3 | 1,11 | 2,20 | 3,64 | 1,301 | 59,2 |

Cuadro 3c. Parámetros descriptivos para el Rendimiento rechazo, según Interacción: Carga x Aditivo.

| Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0,05xAQ | 3 | 0,92 | 1,49 | 2,22 | 0,666 | 44,7 |
| 0,05xP242 | 3 | 0,14 | 2,08 | 4,50 | 2,219 | 106,8 |
| 0,05xSAQ | 3 | 1,86 | 2,23 | 2,70 | 0,432 | 19,4 |
| 0,1xAQ | 3 | 1,21 | 2,21 | 3,43 | 1,126 | 51,0 |
| 0,1xP242 | 3 | 0,95 | 2,54 | 4,22 | 1,637 | 64,3 |
| 0,1xSAQ | 3 | 0,49 | 0,52 | 0,55 | 0,034 | 6,4 |
| 0xTestigo | 3 | 1,11 | 2,20 | 3,64 | 1,301 | 59,2 |

- Análisis inferencial

Los promedios son iguales dentro del factor Carga y dentro del factor Aditivo al (95% de confianza, $p\text{-valor} > 0,05$). No existe interacción entre Carga y Aditivo al 95% de confianza ($p\text{-valor} > 0,05$), para la variable Arcoseno√Rendimiento rechazo%.

Cuadro 3d. Análisis de varianza para el Arcoseno√Rendimiento rechazo%.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 0,00099 | 0,00049 | 0,23 | 0,798ns |
| Aditivo | 2 | 0,00282 | 0,00141 | 0,65 | 0,536ns |
| Carga x Aditivo | 2 | 0,01076 | 0,00538 | 2,49 | 0,119ns |
| Error | 14 | 0,03027 | 0,00216 | | |
| Total (corregido) | 20 | 0,04483 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza ($p\text{-valor} > 0,05$)

Los ranking, son presentados a continuación:

Cuadro 3e. ranking de tratamientos, para el Rendimiento rechazo

| Lugar | Factor: Carga | Nº Obs. | Media |
|-------|---------------|---------|-------|
| 1 | 0 | 3 | 2,20 |
| 2 | 0,05 | 9 | 1,93 |
| 3 | 0,1 | 9 | 1,76 |

| Lugar | Factor: Aditivo | Nº Obs. | Media |
|-------|-----------------|---------|-------|
| 1 | P242 | 6 | 2,31 |
| 2 | Testigo | 3 | 2,20 |
| 3 | AQ | 6 | 1,85 |
| 4 | SAQ | 6 | 1,37 |

| Lugar | Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Media |
|-------|------------------------------|---------|-------|
| 1 | 0,1xP242 | 3 | 2,54 |
| 2 | 0,05xSAQ | 3 | 2,23 |
| 3 | 0,1xAQ | 3 | 2,21 |
| 4 | 0xTestigo | 3 | 2,20 |
| 5 | 0,05xP242 | 3 | 2,08 |
| 6 | 0,05xAQ | 3 | 1,49 |
| 7 | 0,1xSAQ | 3 | 0,52 |

1.4 Análisis para: Número Kappa

- Análisis descriptivo

Cuadro 4a. Parámetros descriptivos para el número Kappa, según factor Carga.

| Factor: Carga | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0 | 3 | 15,34 | 15,78 | 16,50 | 0,629 | 4,0 |
| 0,05 | 9 | 13,30 | 15,38 | 17,32 | 1,523 | 9,9 |
| 0,1 | 9 | 13,90 | 15,07 | 16,89 | 0,933 | 6,2 |

Cuadro 4b. Parámetros descriptivos para el número Kappa, según factor Aditivo.

| Factor: Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| AQ | 6 | 13,30 | 14,03 | 15,10 | 0,619 | 4,4 |
| P242 | 6 | 14,90 | 15,98 | 17,31 | 0,924 | 5,8 |
| SAQ | 6 | 14,17 | 15,67 | 17,32 | 1,152 | 7,4 |
| Testigo | 3 | 15,34 | 15,78 | 16,50 | 0,629 | 4,0 |

Cuadro 4c. Parámetros descriptivos para el número Kappa, según Interacción: Carga x Aditivo.

| Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0,05xAQ | 3 | 13,30 | 13,66 | 14,07 | 0,388 | 2,8 |
| 0,05xP242 | 3 | 14,90 | 15,89 | 17,31 | 1,261 | 7,9 |
| 0,05xSAQ | 3 | 15,91 | 16,59 | 17,32 | 0,706 | 4,3 |
| 0,1xAQ | 3 | 13,90 | 14,40 | 15,10 | 0,623 | 4,3 |
| 0,1xP242 | 3 | 15,58 | 16,06 | 16,89 | 0,722 | 4,5 |
| 0,1xSAQ | 3 | 14,17 | 14,75 | 15,21 | 0,530 | 3,6 |
| 0xTestigo | 3 | 15,34 | 15,78 | 16,50 | 0,629 | 4,0 |

- Análisis inferencial

Del análisis de varianza para el número de kappa, se concluye que los promedios son iguales para el factor Carga (al 95% de confianza (p-valor>0,05), promedios distintos para el factor Aditivo (al 99% de confianza, p-valor<0,01). Existencia de interacción entre Carga y Aditivo al 99% de confianza (p-valor<0,01).

Cuadro 4d. Análisis de varianza para el número Kappa.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 1,2183 | 0,6092 | 1,11 | 0,356ns |
| Aditivo | 2 | 13,1313 | 6,5657 | 12,01 | 0,001** |
| Carga x Aditivo | 2 | 5,5317 | 2,7659 | 5,06 | 0,022* |
| Error | 14 | 7,6511 | 0,5465 | | |
| Total (corregido) | 20 | 27,5325 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

* :Significativo al 95% de confianza (p-valor<0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

Las comparaciones múltiples y ranking, son presentados a continuación:

Cuadro 4e. Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos, para el número Kappa

| Lugar | Factor: Carga | Nº Obs. | Media |
|-------|---------------|---------|-------|
| 1 | 0 | 3 | 15,78 |
| 2 | 0,05 | 9 | 15,38 |
| 3 | 0,1 | 9 | 15,07 |

| Lugar | Factor: Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|-----------------|---------|-------|---------|
| 1 | P242 | 6 | 15,98 | a |
| 2 | Testigo | 3 | 15,78 | a |
| 3 | SAQ | 6 | 15,67 | a |
| 4 | AQ | 6 | 14,03 | b |

| Lugar | Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|------------------------------|---------|-------|---------|
| 1 | 0,05xSAQ | 3 | 16,59 | a |
| 2 | 0,1xP242 | 3 | 16,06 | a b |
| 3 | 0,05xP242 | 3 | 15,89 | a b |
| 4 | 0xTestigo | 3 | 15,78 | a b |
| 5 | 0,1xSAQ | 3 | 14,75 | b c |
| 6 | 0,1xAQ | 3 | 14,40 | c |
| 7 | 0,05xAQ | 3 | 13,66 | c |

1.5 Análisis para: Álcali activo consumido(g/l)
- Análisis descriptivo.

Cuadro 5a. Parámetros descriptivos para el Álcali activo consumido, según factor Carga.

| Factor: Carga | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0 | 3 | 7,87 | 8,17 | 8,72 | 0,474 | 5,8 |
| 0,05 | 9 | 3,99 | 6,33 | 8,36 | 1,581 | 25,0 |
| 0,1 | 9 | 5,34 | 6,39 | 7,40 | 0,708 | 11,1 |

Cuadro 5b. Parámetros descriptivos para el Álcali activo consumido, según factor Aditivo.

| Factor: Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| AQ | 6 | 3,99 | 4,97 | 5,86 | 0,758 | 15,3 |
| P242 | 6 | 7,01 | 7,43 | 8,36 | 0,484 | 6,5 |
| SAQ | 6 | 6,18 | 6,69 | 7,14 | 0,398 | 5,9 |
| Testigo | 3 | 7,87 | 8,17 | 8,72 | 0,474 | 5,8 |

Cuadro 5c. Parámetros descriptivos para el Álcali activo consumido, según Interacción: Carga x Aditivo.

| Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0,05xAQ | 3 | 3,99 | 4,31 | 4,57 | 0,295 | 6,8 |
| 0,05xP242 | 3 | 7,34 | 7,69 | 8,36 | 0,578 | 7,5 |
| 0,05xSAQ | 3 | 6,82 | 6,99 | 7,14 | 0,162 | 2,3 |
| 0,1xAQ | 3 | 5,34 | 5,62 | 5,86 | 0,260 | 4,6 |
| 0,1xP242 | 3 | 7,01 | 7,16 | 7,40 | 0,207 | 2,9 |
| 0,1xSAQ | 3 | 6,18 | 6,39 | 6,76 | 0,317 | 5,0 |
| 0xTestigo | 3 | 7,87 | 8,17 | 8,72 | 0,474 | 5,8 |

- Análisis inferencial

Del análisis de varianza para el Álcali activo consumido, se concluye que existen diferencias significativas (promedios distintos) dentro del factor Carga y dentro del factor Aditivo al 99% de confianza (p-valor<0,01) Existencia de interacción entre Carga y Aditivo al 99% de confianza (p-valor<0,01).

Cuadro 5d. Análisis de varianza para el Álcali activo consumido.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 8,45080 | 4,22540 | 33,39 | 0,000** |
| Aditivo | 2 | 19,15621 | 9,57811 | 75,68 | 0,000** |
| Carga x Aditivo | 2 | 3,50023 | 1,75012 | 13,83 | 0,001** |
| Error | 14 | 1,77173 | 0,12655 | | |
| Total (corregido) | 20 | 32,87898 | | | |

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

Las comparaciones múltiples y ranking, son presentados a continuación:

Cuadro 5e. Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos, para el Álcali activo consumido.

| Lugar | Factor: Carga | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|---------------|---------|-------|---------|
| 1 | 0 | 3 | 8,17 | a |
| 2 | 0,1 | 9 | 6,39 | b |
| 3 | 0,05 | 9 | 6,33 | b |

| Lugar | Factor: Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|-----------------|---------|-------|---------|
| 1 | Testigo | 3 | 8,17 | a |
| 2 | P242 | 6 | 7,43 | b |
| 3 | SAQ | 6 | 6,69 | c |
| 4 | AQ | 6 | 4,97 | d |

| Lugar | Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|------------------------------|---------|-------|---------|
| 1 | 0xTestigo | 3 | 8,17 | a |
| 2 | 0,05xP242 | 3 | 7,69 | a b |
| 3 | 0,1xP242 | 3 | 7,16 | b c |
| 4 | 0,05xSAQ | 3 | 6,99 | c d |
| 5 | 0,1xSAQ | 3 | 6,39 | d |
| 6 | 0,1xAQ | 3 | 5,62 | e |
| 7 | 0,05xAQ | 3 | 4,31 | f |

*: letras distintas indican diferencias significativas al 95% de confianza (p-valor<0,05).

1.6 Análisis para: Viscosidad Promedio
- Análisis descriptivo

Cuadro 6a. Parámetros descriptivos para Viscosidad Promedio, según factor Carga.

| Factor: Carga | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0 | 3 | 47,11 | 51,22 | 54,66 | 3,821 | 7,5 |
| 0,05 | 9 | 17,57 | 39,11 | 58,69 | 18,426 | 47,1 |
| 0,1 | 9 | 27,08 | 38,83 | 45,45 | 5,961 | 15,4 |

Cuadro 6b. Parámetros descriptivos para Viscosidad Promedio, según factor Aditivo.

| Factor: Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| AQ | 6 | 17,57 | 27,97 | 40,69 | 11,085 | 39,6 |
| P242 | 6 | 34,02 | 47,40 | 58,69 | 9,546 | 20,1 |
| SAQ | 6 | 27,08 | 41,54 | 56,53 | 12,163 | 29,3 |
| Testigo | 3 | 47,11 | 51,22 | 54,66 | 3,821 | 7,5 |

Cuadro 6c. Parámetros descriptivos para Viscosidad Promedio, según Interacción:
Carga x Aditivo.

| Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0,05xAQ | 3 | 17,57 | 18,14 | 18,52 | 0,502 | 2,8 |
| 0,05xP242 | 3 | 34,02 | 50,37 | 58,69 | 14,160 | 28,1 |
| 0,05xSAQ | 3 | 33,95 | 48,82 | 56,53 | 12,879 | 26,4 |
| 0,1xAQ | 3 | 33,17 | 37,81 | 40,69 | 4,060 | 10,7 |
| 0,1xP242 | 3 | 43,73 | 44,42 | 45,45 | 0,910 | 2,0 |
| 0,1xSAQ | 3 | 27,08 | 34,26 | 40,38 | 6,712 | 19,6 |
| 0xTestigo | 3 | 47,11 | 51,22 | 54,66 | 3,821 | 7,5 |

- Análisis inferencial

El análisis de varianza para la variable: Viscosidad promedio, indica que para el factor Carga, resultó ser significativo al 95% de confianza (p-valor<0,05), es decir, los promedios son distintos para 0, 0,05 y 0,1. De igual forma para el factor Aditivo, los promedios resultaron ser altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01). Existencia de interacción entre Carga y Aditivo al 99% de confianza (p-valor<0,01).

Cuadro 6d. Análisis de varianza para el Varianza promedio.

| Fuente Variación | Grados Libertad | Suma Cuadrados | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|----------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 385,895 | 192,948 | 3,04 | 0,040* |
| Aditivo | 2 | 1191,235 | 595,618 | 9,40 | 0,003** |
| Carga x Aditivo | 2 | 951,378 | 475,689 | 7,51 | 0,006** |
| Error | 14 | 887,190 | 63,371 | | |
| Total (corregido) | 20 | 3415,698 | | | |

* : Significativo al 95% de confianza (p-valor<0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

Las comparaciones múltiples y ranking, son presentados a continuación.

Cuadro 6e. Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos, para Viscosidad promedio

| Lugar | Factor: Carga | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|---------------|---------|-------|---------|
| 1 | 0 | 3 | 51,22 | a |
| 2 | 0,05 | 9 | 39,11 | b |
| 3 | 0,1 | 9 | 38,83 | b |

| Lugar | Factor: Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|-----------------|---------|-------|---------|
| 1 | Testigo | 3 | 51,22 | a |
| 2 | P242 | 6 | 47,40 | a |
| 3 | SAQ | 6 | 41,54 | a |
| 4 | AQ | 6 | 27,97 | b |

| Lugar | Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|------------------------------|---------|-------|---------|
| 1 | 0xTestigo | 3 | 51,22 | a |
| 2 | 0,05xP242 | 3 | 50,37 | a |
| 3 | 0,05xSAQ | 3 | 48,82 | a b |
| 4 | 0,1xP242 | 3 | 44,42 | a b |
| 5 | 0,1xAQ | 3 | 37,81 | a b |
| 6 | 0,1xSAQ | 3 | 34,26 | b |
| 7 | 0,05xAQ | 3 | 34,13 | c |

*: letras distintas indican diferencias significativas al 95% de confianza (p-valor<0,05).

1.7 Análisis para: blancura

- Análisis descriptivo

Cuadro 7a. Parámetros descriptivos para la blancura, según factor Carga.

| Factor: Carga | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|--------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0 | 3 | 37,26 | 38,82 | 39,99 | 1,405 | 3,6 |
| 0,05 | 9 | 42,19 | 44,14 | 45,71 | 1,062 | 2,4 |
| 0,1 | 9 | 37,20 | 42,68 | 43,85 | 2,090 | 4,9 |

Cuadro 7b. Parámetros descriptivos para la blancura, según factor Aditivo.

| Factor: Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| AQ | 6 | 37,20 | 43,02 | 45,71 | 3,087 | 7,2 |
| P242 | 6 | 42,19 | 43,52 | 44,33 | 0,784 | 1,8 |
| SAQ | 6 | 43,37 | 43,69 | 44,70 | 0,525 | 1,2 |
| Testigo | 3 | 37,26 | 38,82 | 39,99 | 1,405 | 3,6 |

Cuadro 7c. Parámetros descriptivos para la blancura, según Interacción: Carga x Aditivo.

| Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Mínimo | Media | Máximo | Desv.Estandar | CV(%) |
|---|--------------------|---------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|
| 0,05xAQ | 3 | 44,07 | 45,03 | 45,71 | 0,855 | 1,9 |
| 0,05xP242 | 3 | 42,19 | 43,54 | 44,33 | 1,175 | 2,7 |
| 0,05xSAQ | 3 | 43,40 | 43,85 | 44,70 | 0,739 | 1,7 |
| 0,1xAQ | 3 | 37,20 | 41,01 | 43,21 | 3,315 | 8,1 |
| 0,1xP242 | 3 | 43,06 | 43,49 | 43,83 | 0,393 | 0,9 |
| 0,1xSAQ | 3 | 43,37 | 43,54 | 43,85 | 0,269 | 0,6 |
| 0xTestigo | 3 | 37,26 | 38,82 | 39,99 | 1,405 | 3,6 |

- Análisis inferencial

Del análisis de varianza para la blancura, se concluye que los promedios son distintos para el factor Carga (al 99% de confianza, p-valor<0,01), promedios iguales para el factor Aditivo (al 95% de confianza, p-valor>0,05). No existe interacción entre Carga y Aditivo al 95% de confianza (p-valor>0,05).

Cuadro 7d. Análisis de varianza para la blancura.

| Fuente Variación | Grados Libertad | S. cuadrado | Cuadrados medios | Valor F | P-Valor |
|-------------------|-----------------|-------------|------------------|---------|---------|
| Carga | 2 | 63,817 | 31,908 | 14,09 | 0,000** |
| Aditivo | 2 | 1,453 | 0,726 | 0,32 | 0,731ns |
| Carga x Aditivo | 2 | 14,782 | 7,391 | 3,26 | 0,069ns |
| Error | 14 | 31,696 | 2,264 | | |
| Total (corregido) | 20 | 111,748 | | | |

ns: No significativo al 95% de confianza (p-valor>0,05)

** : Altamente significativo al 99% de confianza (p-valor<0,01)

Las comparaciones múltiples y ranking, son presentados a continuación

Cuadro 7e. Comparaciones múltiples de Duncan y ranking de tratamientos, para la blancura.

| Lugar | Factor: Carga | Nº Obs. | Media | Grupos* |
|-------|---------------|---------|-------|---------|
| 1 | 0,05 | 9 | 44,14 | a |
| 2 | 0,1 | 9 | 42,68 | a |
| 3 | 0 | 3 | 38,82 | b |

| Lugar | Factor: Aditivo | Nº Obs. | Media |
|-------|-----------------|---------|-------|
| 1 | SAQ | 6 | 43,69 |
| 2 | P242 | 6 | 43,52 |
| 3 | AQ | 6 | 43,02 |
| 4 | Testigo | 3 | 38,82 |

| Lugar | Interacción: Carga x Aditivo | Nº Obs. | Media |
|-------|------------------------------|---------|-------|
| 1 | 0,05xAQ | 3 | 45,03 |
| 2 | 0,05xSAQ | 3 | 43,85 |
| 3 | 0,05xP242 | 3 | 43,54 |
| 4 | 0,1xSAQ | 3 | 43,54 |
| 5 | 0,1xP242 | 3 | 43,49 |
| 6 | 0,1xAQ | 3 | 41,01 |
| 7 | 0xTestigo | 3 | 38,82 |

*: letras distintas indican diferencias significativas al 95% de confianza (p-valor<0,05).