

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO
DEL BAGAZO EN LA CALIDAD DEL EFLUENTE LÍQUIDO DEL NEGOCIO DE
DESMEDULADO EN LA EMPRESA CARVAJAL PULPA Y PAPEL PLANTA 2**



JUAN CARLOS AGUILAR

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2013**

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO
DEL BAGAZO EN LA CALIDAD DEL EFLUENTE LÍQUIDO DEL NEGOCIO DE
DESMEDULADO EN LA EMPRESA CARVAJAL PULPA Y PAPEL PLANTA 2



JUAN CARLOS AGUILAR

Informe de Pasantía presentado como requisito de grado para optar al título de:
INGENIERO AMBIENTAL

Director de Grado
PAULO MAURICIO ESPINOSA
Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2013

Nota de aceptación

El Director y Jurados del Trabajo de Grado “Evaluación de la influencia del tiempo de almacenamiento del bagazo en la calidad del efluente líquido del negocio de desmedulado en la empresa Carvajal Pulpa y Papel Planta 2” elaborado por JUAN CARLOS AGUILAR, una vez revisado el informe final y aprobada la sustentación del mismo, autorizan para que se realicen las gestiones administrativas correspondientes a su título profesional.

PAULO MAURICIO ESPINOSA
Director

GUILLERMO CHAUX FIGUEROA
Jurado

RICARDO BENÍTEZ BENÍTEZ
Jurado

Popayán, 23 de abril de 2013

*A mis amigos y familiares por su
carino en esta década de sueños.*

*A mi madre y abuelos por su amor y
apoyo incondicional.*

*A mis amados Hijos y Esposa por
ser la fortaleza para continuar.*

*A ti Señor, por la vida y el poner
en mi camino a todas las personas a
quien hoy dedico esta conquista.*

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor gratitud a la Universidad del Cauca por la educación brindada, y a todos aquellos que contribuyeron en mi formación profesional, en especial a los profesores: Javier Fernández, Mauricio Espinosa, Carlos Cabezas y Guillermo Chaux, por su honestidad a la hora de enseñar.

A los compañeros de la empresa Carvajal, quienes con su experiencia y entera colaboración facilitaron la realización del presente trabajo.

A Lyda y Ricardo, por brindarme la oportunidad de culminar mis estudios.

A Julio, Harold, Néstor, Hugo, Felipe, Mauricio, Viviana, Brenda, Adriana, Marcela y demás compañer@s por acompañarme en este increíble viaje.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
2. OBJETIVOS	5
2.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3. ANTECEDENTES DE LA PASANTÍA	6
3.1. ENSAYO EFLUENTE DE DESMEDULADO	6
3.2. EVALUACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE ALTO TIEMPO DE ALMACENAMIENTO.....	7
3.2.1. Caracterización de bagazo de diferente procedencia, con diferentes días de almacenamiento	7
3.2.2. Caracterización de bagazo fresco de diferente procedencia	8
3.2.3. Caracterización de bagazo almacenado durante 121 días	9
3.2.4. Caracterización de las aguas del proceso de desmedulado	9
4. MARCO REFERENCIAL	12
4.1. CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	12
4.1.1. Composición física.....	12
4.1.2. Composición morfológica.....	13
4.1.3. Composición química.....	13
4.2. PROCESO GENERAL DE LA FABRICACIÓN DEL PAPEL A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA	14
4.2.1. Limitaciones del bagazo como materia prima para la producción de papel	17
4.3. EFLUENTES DE LA INDUSTRIA PAPELERA.....	18

	Pág.
4.4. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.....	20
4.4.1. Muestreo Probabilístico	20
4.4.2. Correlaciones.....	20
4.4.3. Modelo de regresión	21
5. METODOLOGÍA.....	23
5.1. REVISIÓN GENERAL DEL PROCESO DE DESMEDULADO.....	23
5.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO	24
5.2.1. Determinación de las características del bagazo.....	25
5.2.2. Determinación de las características del efluente.....	27
5.3. TIPO DE ESTUDIO, POBLACIÓN Y MUESTRA	27
5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
6. RESULTADOS	33
6.1. CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO.....	35
6.2. CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE	38
6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LAS ESCALAS PILOTO E INDUSTRIAL	39
6.4. AJUSTE DEL MODELO DE REGRESIÓN.....	40
6.5. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO QUE GENERE MENOR IMPACTO EN LA CALIDAD DEL EFLUENTE ...	45
7. CONCLUSIONES.....	46
8. RECOMENDACIONES	48
9. BIBLIOGRAFÍA.....	49
ANEXOS.....	52

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Resultados del ensayo efluente desmedulado.....	6
Cuadro 2. Características del bagazo diferentes días de almacenamiento ...	8
Cuadro 3. Características del bagazo fresco	8
Cuadro 4. Características del bagazo de alto tiempo de almacenamiento	9
Cuadro 5. Análisis pH	10
Cuadro 6. Análisis Acidez	10
Cuadro 7. Composición física promedio del bagazo.....	13
Cuadro 8. Composición morfológica del bagazo limpio	13
Cuadro 9. Propiedades químicas del bagazo variedades mezcladas.....	14
Cuadro 10. Parámetros generales de calidad en efluentes	19
Cuadro 11. Variables de análisis	25
Cuadro 12. Conformación del arrume de estudio	28
Cuadro 13. Características promedio del bagazo analizado.....	33
Cuadro 14. Pares de comparación entre las escalas piloto e industrial.....	39
Cuadro 15. Prueba de muestras relacionadas.....	40
Cuadro 16. Correlaciones bivariadas VS. tiempo de almacenamiento	40
Cuadro 17. Correlaciones bivariadas VS. humedad	41
Cuadro 18. Modelos de regresión.....	42
Cuadro 19. Análisis de los residuales	44
Cuadro 20. Datos estimados de DBO_5	45

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de lavado de pulpa café	15
Figura 2. Diagrama del blanqueo de la pulpa	16
Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de desmedulado	24
Figura 4. Equipo desintegrador de bagazo	26
Figura 5. Arrume de estudio en el M5.....	28
Figura 6. Sectorización en el arrume de estudio.....	29
Figura 7. Método para conformar muestra compuesta	30
Figura 8. Evidencia fotográfica del muestreo	30
Figura 9. Variación de la humedad, cenizas, fibra y solubles	35
Figura 10. Variación del pH y acidez	37
Figura 11. Variación de la DQO y DBO ₅ a escala piloto	38
Figura 12. Variación de la DQO y DBO ₅ calculada	43
Figura 13. Histograma y gráfico probabilístico errores en DQO calculada ..	43
Figura 14. Histograma y gráfico probabilístico errores en DBO ₅ calculada .	44

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Procedimiento de simulación del proceso de desmedulado
- Anexo B. Base de datos de estudio
- Anexo C. Prueba T pareada escala piloto e industrial SPSS
- Anexo D. Correlaciones bivariadas SPSS
- Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo
SPSS
- Anexo F. Base de datos calculados por ecuaciones predictivas

INTRODUCCIÓN

El trabajo de pasantía empresarial titulado **“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO DEL BAGAZO EN LA CALIDAD DEL EFLUENTE LÍQUIDO DEL NEGOCIO DE DESMEDULADO EN LA EMPRESA CARVAJAL PULPA Y PAPEL PLANTA 2”** tuvo como propósito realizar un acompañamiento participativo y activo en el negocio de desmedulado, para analizar si el bagazo almacenado a granel en los patios de la planta presenta variaciones significativas en el tiempo, que impacten la calidad del efluente del proceso de desmedulado de la empresa, permitiendo así la praxis vinculada a los conocimientos teóricos del pasante.

La empresa Carvajal Pulpa y Papel, es una planta productora de papel a partir del bagazo de la caña de azúcar, materia prima que es abastecida por los Ingenios Azucareros ubicados en el Valle de Cauca a cambio de carbón que les permite el sostenimiento energético de sus procesos industriales. En Colombia, la producción de caña de azúcar se realiza durante todo el año, permitiéndose una generación constante de bagazo, a diferencia de otros lugares del mundo donde la caña es cosechada por períodos de zafra. En los países donde la cosecha es por zafra, se tienen diseñados sistemas de almacenamiento de bagazo para evitar su degradación.

En el caso de Carvajal Pulpa y Papel se utiliza el sistema de almacenamiento a granel, que consiste básicamente en generar un gran arrume al aire libre, que al ser consumido rápidamente en el proceso no sufre mayores cambios y la degradación es mínima. Sin embargo, al tener altos inventarios de bagazo en la planta, se incrementa significativamente el tiempo que los arrumes quedan expuestos a la intemperie, haciéndose necesario identificar los cambios que sufre

el bagazo y los impactos que este cambio genera en las diferentes etapas del proceso de producción de papel.

En el presente estudio se realizó un monitoreo semanal al arrume de bagazo en el patio M5, para caracterizar y cuantificar las variaciones que este presenta; adicionalmente, se realizó una simulación al proceso de desmedulado para conocer el efecto que produce el almacenamiento en las variables DBO_5 y DQO, y así dar respuesta al objetivo del estudio brindando un acompañamiento técnico - académico a la empresa y colaborando en cada momento que se requiera y se solicite por parte de los dueños de los negocios, es decir, de los jefes de cada área, en especial, del área de desmedulado.

Es importante resaltar que el desarrollo de la pasantía, estuvo enteramente ligado a los momentos y tiempos de la planta, razón que limitó el proyecto en varios aspectos pese a contar con la total disposición del personal de la empresa. En este sentido, el trabajo en los laboratorios de bagazo y calidad ambiental fue coordinado por los jefes de área, para que no se presentasen inconvenientes por el uso de los equipos o por falta de los materiales e insumos requeridos.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La empresa Carvajal Pulpa y Papel es una planta productora de pulpa a partir del bagazo de la caña de azúcar, subproducto de la industria azucarera que se procesa para la obtención de papel. El primer proceso de tratamiento para la obtención del papel es el desmedulado que genera residuos sólidos industriales y aguas residuales que salen como efluentes de descarga hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y que se espera no superen los niveles máximos permitidos para los diferentes parámetros de calidad, para evitar un alto impacto ambiental sobre la fuente receptora.

Por las características del país, la caña de azúcar es cosechada durante todo el año, asegurándose así un suministro constante de bagazo, con bajo tiempo de almacenamiento; situación que en el año 2008 se vio afectada por el paro de corteros de caña del Cauca y Valle del Cauca, que generó un exceso de caña de azúcar disponible en el año 2009, con esto se dio lugar al incremento en los inventarios de bagazo en las plantas, que alcanzaron los 90 días de almacenamiento, cuando normalmente estos son de 45 días máximo.

Según información suministrada por la Jefe de Gestión Ambiental, cuando se procesaron los inventarios de bagazo almacenados por la empresa en el periodo mencionado, se elevaron los parámetros de DBO_5 en el efluente de pulpa del proceso de desmedulado y aunque estos no excedieron los límites permisibles por la entidad ambiental, este evento anormal suscito gran preocupación en el departamento de Gestión Ambiental, ya que se han fijado unas metas internas de gran exigencia en la reducción de los niveles de impacto ambiental.

Aunque no se ha vuelto a repetir una situación como la anteriormente descrita, la empresa se encuentra interesada en establecer el tiempo límite de almacenaje del bagazo sin que se sobrepasen los valores máximos de descarga del efluente de desmedulado; de tal forma que permita establecer un plan de acción en caso de presentarse exceso en los inventarios de la materia prima.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la siguiente pregunta orientadora
¿Cómo influye el tiempo de almacenamiento en la descomposición del bagazo de caña y la calidad del efluente del proceso de desmedulado?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia del tiempo de almacenamiento del bagazo en la calidad del efluente líquido del negocio de desmedulado en la empresa Carvajal Pulpa y Papel - Planta 2

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las características físico-químicas del bagazo con diferentes tiempos de almacenamiento.
- Determinar los efectos que causa el bagazo con diferentes tiempos de almacenamiento en los parámetros de medición de la carga orgánica del efluente de desmedulado.
- Establecer el tiempo de almacenamiento en bagazo alimentado al proceso de desmedulado que genere menor impacto en la calidad del efluente.

3. ANTECEDENTES DE LA PASANTÍA

Después del evento acaecido en 2009, el departamento de Gestión Ambiental de Planta 2 adelantó dos estudios para evaluar los cambios del bagazo almacenado y el impacto sobre el efluente de desmedulado.

3.1. ENSAYO EFLUENTE DE DESMEDULADO¹

En este ensayo se analiza el comportamiento del efluente de desmedulado operando con bagazo de diferentes tiempos de almacenamiento, tomando muestras en el parshall de desmedulado para análisis de DBO₅, DQO, acidez y pH, como se observa en los resultados del ensayo efluente desmedulado descrito en el cuadro 1:

Cuadro 1. Resultados del ensayo efluente desmedulado

Hora	pH	Acidez (mg/L)	Arrume	DQO (mg/L)	T-almacenamiento (días)	DBO ₅ (mg/L)
07:30 am	3,71	1050	M1	10475,5	45	4884,0
07:50 am	3,70	1100	M1	13069,0	45	4447,8
08:30 am	3,80	520	M5	8752,5	30	4225,3
08:50 am	3,82	515	M5	9748,0	30	4325,3
09:50 am	3,99	370	M3	8006,0	20	3360,3
10:10 am	4,00	365	M3	6992,5	20	3442,8
10:40 am	3,90	410	M4	8149,0	10	3677,8
11:00 am	3,80	485	M4	8743,5	10	4102,0
11:40 am	4,01	335	M1	8963,5	5	3910,3
12:00 pm	4,19	290	M1	8219,5	5	3910,3

Fuente: CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno, 2010

¹ Informe técnico suministrado por Lilian Karime Montoya, Profesional en Pulpeo y Blanqueo - Manufacturas Primarias. Julio 15 de 2011.

Se observó que al alimentar el bagazo más antiguo (45 días), se obtuvo en el menor pH, la mayor acidez, la mayor DBO₅ y la mayor DQO en el efluente de desmedulado, existiendo una correlación significativa entre los parámetros analizados.

Dentro del estudio se recomienda realizar un nuevo ensayo alimentando bagazo de un mismo tipo por lo menos durante 4 horas para obtener resultados más confiables y caracterizar las aguas del proceso determinando el aporte de estas en la DQO y la DBO₅.

3.2. EVALUACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE ALTO TIEMPO DE ALMACENAMIENTO²

Se evaluó el bagazo de alto tiempo de almacenamiento, determinando el cambio de sus principales características: % humedad, % ceniza, % fibra, pH, acidez total, % material soluble en agua. El muestreo al arrume formado se hizo de manera puntual por sectores: oriente, occidente, norte, sur. Este proyecto presentó 4 momentos diferentes de análisis, a saber:

3.2.1. Caracterización de bagazo de diferente procedencia, con diferentes días de almacenamiento. Se analizó el bagazo que procede de los diferentes ingenios que suministran la materia prima para el proceso de producción de pulpa en Planta 2, estos son: La Cabaña, Cauca y Mayagüez, con diferentes tiempos de almacenamiento: 5, 15 y 30 días respectivamente. Las características del bagazo de diferentes días de almacenamiento se observan en el cuadro 2:

² Informe técnico suministrado por Lilian Karime Montoya, Profesional en Pulpeo y Blanqueo - Manufacturas Primarias. Julio 15 de 2011.

Cuadro 2. Características del bagazo diferentes días de almacenamiento

VARIABLE DE ANÁLISIS	INGENIOS		
	Cabaña	Cauca	Mayagüez
Días de almacenamiento	5	15	30
% humedad	48,8	49,4	53,5
% ceniza	3,17	4,77	4,55
% fibra	74,25	71,53	71,59
pH	6,13	5,46	4,83
Acidez total	15	17	85
% material soluble	2,03	2,68	4,03

Fuente: CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno, 2010

Es importante observar que hay un aumento significativo de la acidez entre los días 15 y 30 de almacenamiento.

3.2.2. Caracterización de bagazo fresco de diferente procedencia. Se analizó por 19 días el bagazo fresco que llegó de los diferentes ingenios que suministran la materia prima para el proceso de producción de pulpa en Planta 2, periodo en que llegaron 18, 17 y 4 viajes procedentes de La Cabaña, Cauca y Mayagüez, respectivamente; arrojando los siguientes resultados:

Cuadro 3. Características del bagazo fresco

VARIABLE DE ANÁLISIS	INGENIOS		
	Cabaña	Cauca	Mayagüez
Número de muestras	18	17	4
% humedad	48,6	53,8	50,4
% ceniza	3,61	6,03	5,88
% fibra	72,13	65,13	66,99
pH	5,09	4,62	4,95
Acidez total	44,4	105	62
% material soluble	3,54	4,37	4,12

Fuente: CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno, 2010

Se observa que el bagazo fresco procedente del Ingenio Cauca presenta una mayor acidez a los procedentes del Ingenio La Cabaña y Mayagüez.

3.2.3. Caracterización de bagazo almacenado durante 121 días. Se analizó un arrume conformado por bagazo de diferentes procedencias de 80 toneladas, realizándose un muestreo semanal a partir del día 40 de almacenamiento. Las características del bagazo de alto tiempo de almacenamiento se presentan a continuación:

Cuadro 4. Características del bagazo de alto tiempo de almacenamiento

VARIABLE DE ANÁLISIS	DÍAS DE ALMACENAMIENTO							
	40	47	54	90	106	113	121	Promedio
% humedad	63,7	60,8	55,5	76,8	75,2	77,8	80,4	67,1
% ceniza	7,1	7,3	7,1	7,8	7,5	7,5	7,8	7,4
% fibra	60,7	62,6	67,7	65,9	62,9	55,6	60,8	62,3
pH	6,9	6,2	6,2	5,8	6,6	6,1	6,2	6,3
acidez total	11,3	15,3	17,3	20,8	18,8	18,0	14,5	16,5
% material soluble	5,9	6,5	5,5	4,7	4,6	4,4	3,8	5,1
Temperatura °C	53,9	49,9	48,6	48,3	47,9	46,4	45,9	48,7

Fuente: CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno, 2010

Se puede observar que para el día 90 se presentó la mayor acidez (20,8 mg CaCO₃/L), pero en comparación a los resultados de los análisis al bagazo fresco y de diferentes procedencias este valor es bajo.

3.2.4. Caracterización de las aguas del proceso de desmedulado. Evaluó las aguas del proceso de desmedulado alimentado con bagazo de alto tiempo de almacenamiento, en 5 puntos: Banda transportadora T5, filtrados de la segunda etapa bagazo, descarga de lavadoras de bagazo, alimento zaranda 1 en desmedulado proveniente de tanque de agua polvillo y efluente parshall desmedulado, con el objeto de identificar las principales corrientes que aportarán acidez al efluente de pulpa, lo cual pudo modificar los valores normales de DBO₅ en el mismo. Los resultados se presentan en los cuadros 5 y 6:

Cuadro 5. Análisis pH

ANÁLISIS DEL EFLUENTE – pH					
Fecha	Bagazo T5	Filtrados	Lavadoras	Zaranda	Parshall
03/11/2010	6,20	5,80	3,90	4,22	4,20
04/11/2010	4,07	5,31	3,87	4,03	4,05
05/11/2010	4,42	6,93	3,84	4,18	4,00
08/11/2010	3,99	6,14	3,93	4,43	3,84
09/11/2010	3,86	5,75	3,96	4,39	3,86
10/11/2010	3,75	5,69	3,90	4,21	3,68
11/11/2010	4,00	5,68	3,93	4,17	3,93
Promedio	4,38	5,90	3,90	4,23	3,94

Fuente: CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno, 2010

Cuadro 6. Análisis Acidez

ANÁLISIS DEL EFLUENTE – ACIDEZ					
Fecha	Bagazo T5	Filtrados	Lavadoras	Zaranda	Parshall
03/11/2010	15	48	1071	426	424
04/11/2010	126	87	1193	660	700
05/11/2010	58	30	1068	498	610
08/11/2010	98	32	571	192	270
09/11/2010	95	39	641	249	310
10/11/2010	126	46	828	279	405
11/11/2010	81	40	628	261	325
Promedio	86	46	857	366	435

Fuente: CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno, 2010

Se puede observar que los filtrados analizados en los puntos específicos de muestreo incrementan el pH del bagazo, mientras que la Acidez presenta su mayor pico en el punto de las lavadoras (Carvajal Pulpa y Papel, 2010).

Dentro de las conclusiones del estudio se dice que las muestras analizadas de los ingenios con diferentes días de almacenamiento indican que el arrume de mayor tiempo de almacenamiento procedente del ingenio Mayagüez aporta mayor humedad, significativa disminución en fibra apta, incremento en la acidez, pH bajo y mayor contenido de solubles.

Con los resultados de este estudio no se explica el impacto generado en las aguas del proceso de desmedulado causado por bagazo de diferente tiempo de almacenamiento, referido en DBO_5 y DQO, que son las variables críticas en la descarga final a la PTAR, ni de cómo manejar situaciones anormales que involucren exceso de inventarios, puesto que las mediciones en el efluente se tomaron a los 121 días, al hacer el ingreso del inventario a la máquina, razón por la cual no se logró establecer una correlación de las variables del bagazo frente a la calidad del efluente en el tiempo de almacenamiento del experimento.

Por esta razón la empresa decidió realizar un nuevo ensayo, simulando con mayor exactitud las condiciones en que se almacenó el bagazo en la época de exceso de inventarios sin considerar como variable de estudio la procedencia del bagazo, en vista que el proceso de producción del papel no tiene en cuenta esta distinción para seleccionar la materia prima.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

El bagazo es el residuo del proceso de fabricación de azúcar a partir de la caña (*Saccharum Officinarum Linn*), el remanente de los tallos después de ser extraído el jugo azucarado que ésta contiene, por los molinos del central. El uso tradicional y más difundido del bagazo es en la producción de vapor mediante su combustión en las calderas del propio central azucarero.

Estudios realizados, acompañados de la experiencia industrial acumulada en los años más recientes, han demostrado la viabilidad de satisfacer las demandas energéticas de los centrales azucareros, con prácticamente la mitad de su bagazo, quedando un sobrante factible de ser empleado en más de cuarenta aplicaciones demostradas, de las cuales las más relevantes son la producción de celulosa y papel, tableros, etanol y alimento animal (Triana, 1990).

Como materia prima ampliamente utilizada para la producción de pulpa y papel alcanzó un índice mundial para el periodo 1989-1994 estimado en 1,7 millones de toneladas de pulpa (Lintu, 2011).

4.1.1. Composición física. Físicamente, el bagazo está constituido por cuatro fracciones, cuya magnitud relativa está en dependencia del proceso agroindustrial azucarero al que fue sometida la caña, a la variedad de la misma y al grado de desgaste que sufren los equipos procesadores. En el cuadro 7 se presenta un resumen de su composición física:

Cuadro 7. Composición física promedio del bagazo

Componente	%
Fibra o bagazo	45
Sólidos no solubles	2-3
Sólidos solubles	2-3
Agua	51-49

Fuente: TRIANA. Atlas del bagazo de la caña de azúcar, 1990

4.1.2. Composición morfológica. Las fibras del haz vascular son finas, de paredes delgadas con extremos romos, horquillado o bifurcado y en su superficie presentan ocasionalmente pequeños poros, mientras que las fibras de la corteza son de mayor longitud, diámetro y paredes gruesas.

El rasgo más característico del bagazo es la abundancia de grandes células parenquimatosas y segmentos de vasos. Las células parenquimatosas son de paredes finas y muy porosas, los segmentos de vasos son distinguidos por su gran longitud; las células epidérmicas se caracterizan por presentar bordes irregulares. En el cuadro 8 se observa la composición del bagazo limpio:

Cuadro 8. Composición morfológica del bagazo limpio

Componente	% (b.s.)
Fibras	50
Parénquima	30
Vasos	15
Epidermis	5

Fuente: TRIANA. Atlas del bagazo de la caña de azúcar, 1990

4.1.3. Composición química. La fracción de carbohidratos está representada por celulosa y hemicelulosas, las cuales son analíticamente designadas como holocelulosas. Químicamente, la celulosa se define como un homopolímero de la glucosa, su forma más pura de presentarse en la naturaleza es en el algodón. (Triana, 1990). En el cuadro 9 se presentan las propiedades químicas del bagazo:

Cuadro 9. Propiedades químicas del bagazo variedades mezcladas

Componente	Integral (%)	Fracción fibra (%)	Médula (%)
Celulosa	46,6	47,0	41,2
Pentosanas	25,2	25,1	26,0
Hemicelulosa	38,3	40,0	-
Lignina	20,7	19,5	21,7
Extractivos A/B	2,7	2,3	2,9
Solubilidad agua fría	4,1	3,4	4,2
Solubilidad agua caliente	2,2	2,1	4,0
Solubilidad NaOH 1%	34,9	32,0	36,1
Cenizas	2,6	1,4	5,4

Fuente: TRIANA. Atlas del bagazo de la caña de azúcar, 1990

4.2. PROCESO GENERAL DE LA FABRICACIÓN DEL PAPEL A PARTIR DE BAGAZO DE CAÑA

La fabricación de papel a partir del bagazo de caña de azúcar, se inicia en los ingenios azucareros donde se realiza un desmedulado previo para separar parte de fibra de la médula; este último componente es indeseable en el proceso de fabricación de papel por su capacidad de absorción, ya que eleva el requerimiento de insumos químicos en las etapas siguientes del proceso.

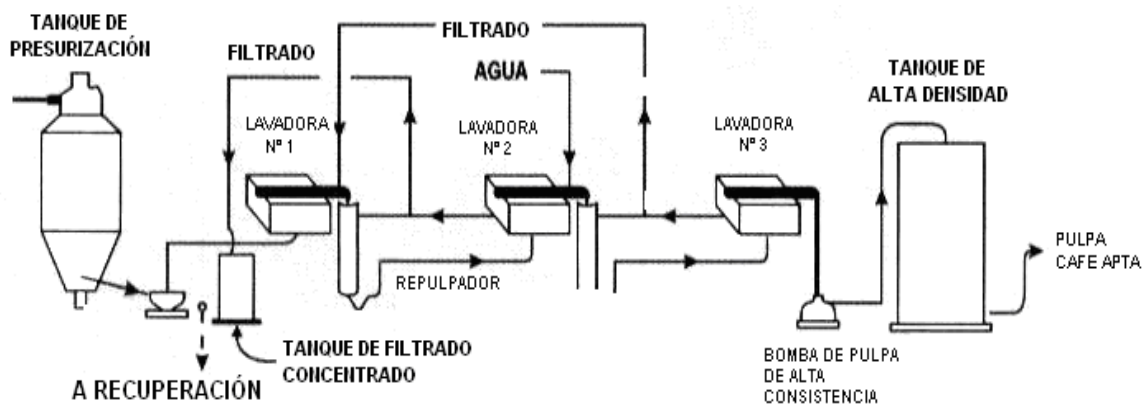
La fibra con una baja proporción de polvillo es transportada a la planta procesadora de papel en la cual se almacena para luego ser incorporada al proceso de fabricación, donde nuevamente es desmedulada y lavada, para garantizar una fibra más limpia y apta. El desmedulado inicial es seco mediante combinación de molinos de martillos y zarandas, a una humedad del 20 al 40%. Posteriormente el bagazo pasa a un desmedulado en húmedo, el cual se lleva cabo a una humedad de aproximadamente 50%.

La fibra limpia entra en la planta de pulpeo donde es sometida a un proceso de cocción para generar que la cadena molecular de la celulosa sea lo más larga

posible y separar las fibras para facilitar el entrecruzamiento y anudamiento de ellas en la máquina de papel; para esto se realiza una cocción con soda cáustica, vapor a alta presión y temperatura, conocido como "proceso a la soda". Su finalidad es eliminar parte de la lignina contenida en la fibra de caña de azúcar. La cocción se lleva a cabo en digestores continuos y posteriormente la pulpa pasa a un tanque donde se efectúa la despresurización. La pulpa, en esta fase, adquiere una tonalidad café y por esta razón se denomina "pulpa café". Seguidamente es enviada al cuarto de filtros lavadores en contracorriente donde se separa la pulpa del licor residual del cocimiento, más conocido como "licor negro" (Perdomo, 2007).

Luego se realiza una limpieza en un sistema compuesto por zarandas y depuradores ciclónicos, en donde se retiran los materiales indeseables y se separa la fibra gruesa y fina; La pulpa café obtenida puede continuar al proceso de blanqueo o ser usada en las máquinas papeleras con destino a la fabricación de papeles sin blanquear o naturales también llamado papel kraft (Mera, 2007).

Figura 1. Diagrama de lavado de pulpa café



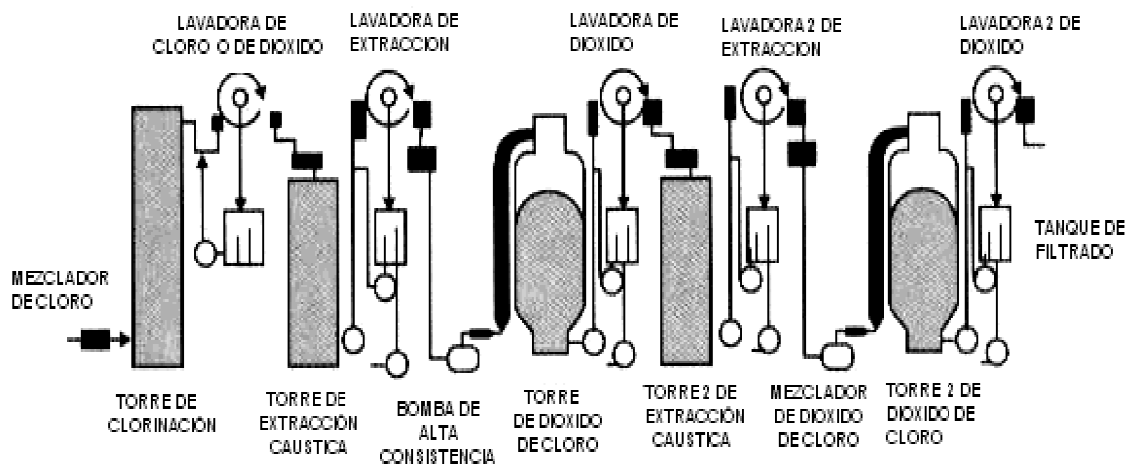
Fuente: PROPAL S.A. Manufactura del Papel: Carta técnica comercial, 2003

Si lo que se quiere es obtener papel para impresión, la pulpa pasa a la planta de blanqueo, esta tiene como función de retirar toda la lignina residual que le confiere

el color café a la pulpa, en esta etapa se realiza la destrucción, alteración o solubilización de la lignina, materiales orgánicos coloreados y otros residuos no deseables de la pulpa.

El blanqueo de la pulpa se logra mediante reacciones químicas de los agentes blanqueantes con la lignina y materiales coloreados de la pulpa que ocurren en las torres de retención y a un posterior lavado por filtración para eliminar los productos de cada reacción. Esta mezcla de fibras, aditivos químicos, colorantes y gran cantidad de agua es depositada sobre una malla girando a alta velocidad que mediante una combinación de efectos de gravedad y vacío retira el agua quedando al final de la malla una estructura húmeda de fibras entrelazadas que es en sí el principio de la hoja de papel. Posteriormente se pasa la hoja de papel por un sistema de prensas y secadores de vapor para eliminar el exceso de humedad que todavía contiene la hoja de papel (Perdomo, 2007).

Figura 2. Diagrama del blanqueo de la pulpa



Fuente: PROPAL S.A. Manufactura del Papel: Carta técnica comercial, 2003

La hoja de papel es pasada por un sistema de rodillos llamado calandria, que la prensa para dar mejores propiedades de apariencia como lisura, calibre y porosidad, posteriormente la hoja de papel continua es enrollada en bobinas y

luego es colocado en rollos más pequeños de acuerdo con los requerimientos del cliente (Mera, 2007).

4.2.1. Limitaciones del bagazo como materia prima para la producción de papel. Por sus características morfológicas y químicas, el bagazo de la caña de azúcar tiene ciertas limitantes en su utilización para la producción de papel.

Considerando su relativo bajo contenido de lignina, el bagazo es una materia prima de fácil pulpabilidad, mientras que la comparativamente alta proporción de hemicelulosa, le confiere a sus pulpas químicas excelente aptitud de molido, pero por otra parte el papel se caracteriza por su inferior opacidad y mayor rigidez en comparación con las maderas coníferas.

Las diferencias fundamentales con respecto a la mayor parte de las maderas son:

- Heterogeneidad morfológica, dada por la presencia de una alta proporción de células parenquimáticas y tejido vascular de diversos tipos, e inclusive, por diferencias entre las propias fibras libriformes según su posición en la sección transversal del tallo de la caña de azúcar.
- Las fibras libriformes o verdaderas se caracterizan por su baja longitud y paredes relativamente gruesas.
- Las hemicelulosas predominantes son del tipo pentosanas y se encuentran en una proporción relativamente alta (26-28%).
- La lignina presenta diferencias estructurales y su proporción es inferior (20%).
- El grado de polimerización medio de la celulosa es ligeramente inferior.

No resulta económicamente fácil modificar en la práctica las características desfavorables del bagazo que dependen de su composición química pero mediante el proceso de desmedulado se pueden mejorar de forma considerable

otras propiedades que se encuentran vinculadas a su heterogeneidad morfológica (Molina, s.f.).

4.3. EFLUENTES DE LA INDUSTRIA PAPELERA

Los vertimientos de las fábricas procesadoras de papel contienen una gran cantidad y diversidad de contaminantes que varían en función de las materias primas y las tecnologías empleadas.

La carga contaminante está compuesta de los productos químicos utilizados para cocer la materia prima, sustancias resultantes de la eliminación de la lignina (licor negro) y sustancias organocloradas provenientes del blanqueo y muchos compuestos sin identificar resultantes de las interacciones entre ellos, que tienen una elevada toxicidad y requieren complejos y costosos sistemas de depuración para reducir su impacto sobre los cauces receptores (TAR INNOVA, s.f.).

La industria papelera ha sido tradicionalmente una de las principales fuentes de generación y emisión al ambiente de estas sustancias, por lo que se hace necesario realizar análisis físico-químicos para valorar la carga contaminante y la calidad de los efluentes (ver cuadro 10), que permita evaluar el impacto ambiental que estos generan en las fuentes receptoras.

Normalmente no es ni práctico, ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de los efluentes industriales, además, esta caracterización debe ser particular, según el proceso que desarrolla cada empresa (Roda, 2001).

Cuadro 10. Parámetros generales de calidad en efluentes

Características	Parámetros
Físico – químicos	Turbidez, color, olor, sólidos totales
Inorgánicos	Metales, aniones
Orgánicos	DQO, DBO, COT, OD

Fuente: RODA. Manual para el manejo de la evidencia en casos de contaminación hídrica, 2001

Para la evaluación de la calidad de los efluentes, uno de los parámetros más importantes es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) cuya determinación indica la cantidad de oxígeno disuelto requerido por microorganismos vivos, existentes en el medio natural: río, lago, para la utilización o destrucción de la materia orgánica por oxidación bioquímica.

Es una característica cuantificable del grado de contaminación del agua a partir de su contenido de sustancias biodegradables, expresado en función de la demanda de oxígeno de los microorganismos participantes en la degradación de la materia orgánica presente a 20 °C en un tiempo predeterminado (usualmente 5 días, DBO₅).

Igualmente, la demanda química de oxígeno (DQO) también expresa la cantidad de oxígeno que corresponde a la materia orgánica total de una muestra, que es susceptible de oxidarse por un producto químico altamente oxidante (dicromato de potasio) en un medio ácido, cuantificando el grado de contaminación del agua.

La fijación química se debe al oxígeno consumido por los cuerpos reductores sin intervención de organismos vivos, muy común en los efluentes industriales. Razón por la cual, generalmente el valor de la DQO es mayor que el valor de la DBO₅, porque suele ser mayor el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica (Roda, 2001).

4.4. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

4.4.1. Muestreo probabilístico. Con este diseño cada elemento de la población muestral tiene una probabilidad diferente a cero de ser seleccionado en la muestra. Existen diferentes técnicas como, muestreo aleatorio simple, sistemático de elementos, estratificado y existen diseños denominados métodos de selección con igual probabilidad. El muestreo se puede hacer también con remplazo, cuando los elementos ya seleccionados pueden seleccionarse nuevamente o sin remplazo, cuando una vez elegidos, no se tienen en cuenta para una nueva selección. Una muestra aleatoria consiste en extraer de una población, un subconjunto de n para que la selección de cada uno de ellos dependa únicamente de factores del azar (Carvajal, 2005).

4.4.2. Correlaciones. El concepto de relación o correlación entre dos variables se refiere al grado de parecido o variación conjunta existente entre ellas y se limita a considerar variables cuantitativas. Una correlación positiva entre dos variables X e Y significa que los valores de las dos variables varían de forma proporcional: los sujetos que puntúan alto en X tienden a puntuar alto en Y , y los que puntúan bajo en X tienden a puntuar bajo en Y , una relación negativa significa que los valores de ambas variables cambian inversamente. En la estadística existen correlaciones de interés para estudiar las relaciones entre variables las más comunes son las bivariadas y parciales.

Las correlaciones bivariadas se utilizan para estudiar la relación entre dos variables cuantitativas, el coeficiente de correlación más empleado para el análisis es el de Pearson, el cual es una medida de la asociación entre dos variables. Los valores del coeficiente de correlación de Pearson van de -1 a 1 donde el signo indica la dirección de la relación y su valor absoluto indica la fuerza. Los valores mayores indican que la relación es más estrecha (Carvajal, 2005).

Las correlaciones parciales permiten estudiar la relación existente entre dos variables cuantitativas controlando el posible efecto de una o más variables cuantitativas extrañas. Un coeficiente de correlación parcial es una técnica de control estadístico que expresa el grado de relación lineal entre dos variables tras eliminar de ambas el efecto atribuible a terceras variables. (Escuela Superior de Informática, s.f.)

4.4.3. Modelo de regresión. Se conoce como análisis de regresión multivariante al método estadístico que permite establecer una relación matemática entre un conjunto de variables X_1, X_2, \dots, X_k (covariantes o factores) y una variable dependiente Y . Se utiliza fundamentalmente en estudios en los que no se puede controlar por diseño los valores de las variables independientes, como suele ocurrir en los estudios observacionales (Molinero, 2002).

Los objetivos de un modelo de regresión puede ser dos:

- Obtener una ecuación que nos permita "predecir" el valor de Y una vez conocidos los valores de X_1, X_2, \dots, X_k . Se conocen como modelos predictivos.
- Cuantificar la relación entre X_1, X_2, \dots, X_k y la variable Y con el fin de conocer o explicar mejor los mecanismos de esa relación. Se trata de modelos explicativos, muy utilizados cuando se busca encontrar qué variables afectan a los valores de un parámetro.

Un problema fundamental que se plantea a la hora de construir un modelo multivariante es qué factores $X_1, X_2 \dots X_k$ incluir en la ecuación, de tal manera que estimemos el mejor modelo posible a partir de los datos de nuestro estudio. Para ello lo primero que habría que definir es qué entendemos por "mejor modelo". Si buscamos un modelo predictivo será aquél que nos proporcione predicciones más fiables, más acertadas; mientras que si nuestro objetivo es construir un modelo explicativo, buscaremos que las estimaciones de los coeficientes de la

ecuación sean precisas, ya que a partir de ellas vamos a efectuar nuestras deducciones.

Algunos autores recomiendan utilizar la estrategia de regresión hacia atrás, comenzando entonces con un modelo en el que se incluyen todas las variables y las posibles interacciones de interés (modelo máximo). Cuando el número de variables es grande con relación al de datos y sobre todo si existe una marcada correlación entre alguna de ellas, puede ocurrir que no sea posible obtener una estimación adecuada de los coeficientes de la ecuación de regresión.

Cuando existe correlación importante entre dos o más variables independientes de una ecuación de regresión se dice en terminología matemática que existe colinealidad y es algo que deberíamos comprobar si se produce o no en nuestro modelo de regresión.

Los modelos de regresión pueden ser validados en otro conjunto de datos de similares características -extraídos de la misma población-, con el fin de evaluar su fiabilidad. Un índice empleado para validar el modelo se basa en estimar la ecuación de regresión en una de las submuestras y calcular el coeficiente de correlación R_a entre los valores observados y los valores estimados por la ecuación (este coeficiente coincide con el valor del coeficiente de correlación múltiple). Después aplicamos la ecuación de regresión al otro grupo para calcular el valor estimado de Y para cada unidad de observación y calculamos el coeficiente de correlación R_b entre ese valor estimado y el valor realmente observado. La diferencia entre el cuadrado de ambos coeficientes $R_a^2 - R_b^2$ se denomina índice de reducción en la validación cruzada. Valores de este índice inferiores a 0.1 indican que el modelo es muy fiable mientras que valores superiores a 0.9 corresponden a modelos muy poco fiables.

5. METODOLOGÍA

Se desarrollo el siguiente proceso metodológico:

5.1. REVISIÓN GENERAL DEL PROCESO DE DESMEDULADO

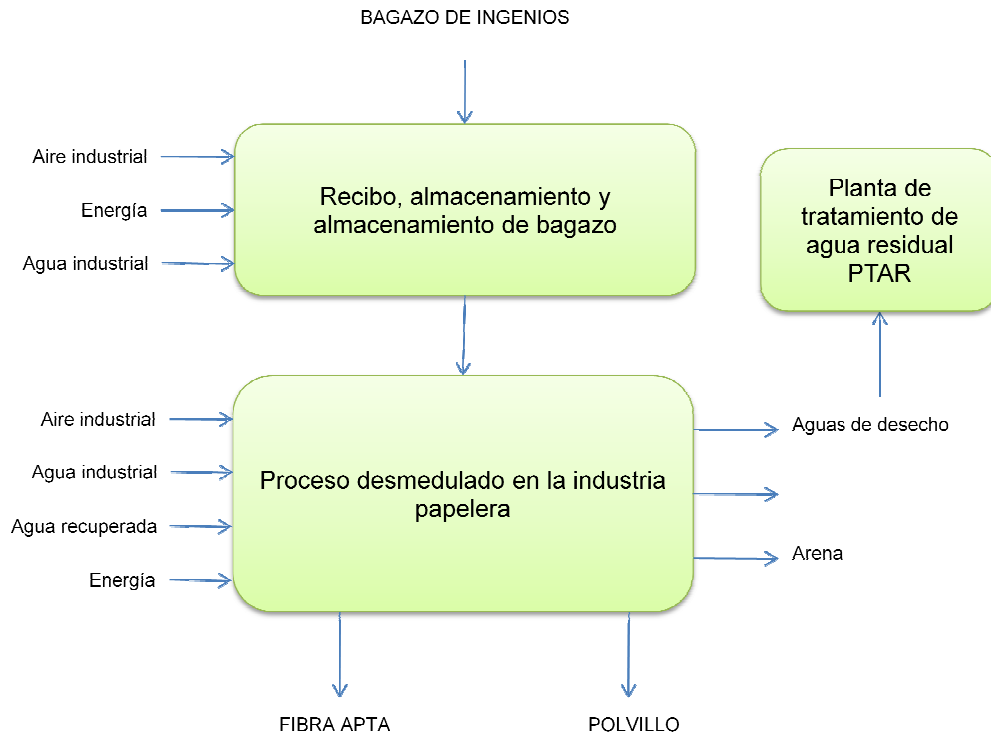
El trabajo se inició con la revisión bibliográfica sobre los diferentes procesos realizados en la empresa para la fabricación del papel, priorizando la búsqueda sobre el proceso de desmedulado y las líneas de flujo que hacen parte del mismo.

En la inducción realizada a la planta, se identificaron las líneas de proceso de la etapa de desmedulado, las operaciones previas de recibo, almacenamiento, alimentación de bagazo y las operaciones posteriores de transporte de fibra apta, polvillo y desechos (ver figura 3).

Se logró conocer el funcionamiento de las máquinas principales en el desmedulado e identificar los flujos de entrada y salida del proceso: los tipos de residuos sólidos y características del efluente líquido descargado a la Planta de Tratamiento de Aguas Industriales de Planta 2.

Además en el reconocimiento a los laboratorios de bagazo y ambiental, se conocieron los equipos y las técnicas requeridas para realizar los análisis de las características del bagazo y la simulación al proceso de desmedulado. De igual manera y con el acompañamiento de los jefes de área y el personal responsable de los laboratorios, se identificaron los riesgos inherentes de cada operación para garantizar el uso adecuado de los elementos de protección personal y el correcto desenvolvimiento en las actividades desarrolladas durante la pasantía.

Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de desmedulado



Fuente: PROPAL S.A. Manufactura del Papel: Carta técnica comercial, 2003

5.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Con base en la necesidad de correlacionar el cambio en las variables del bagazo frente al efluente, se consideró realizar un proceso de simulación del desmedulado (escala piloto) que permitiera obtener datos de la calidad del efluente para cada muestreo realizado.

El tiempo de almacenamiento es la variable independiente que determina el cambio en las características del bagazo e impera de manera absoluta en los parámetros de carga orgánica del efluente de desmedulado, que a su vez dan

cumplimiento al objetivo propuesto, así pues, la DBO₅ y la DQO serán las variables de respuesta.

En otro nivel se encuentran las variables pH, acidez, material soluble, porcentajes de humedad, cenizas y fibra, que son rasgos del bagazo relacionados con su degradación y están en función del tiempo de almacenamiento; estas covariables se relacionan directamente con las variables de respuesta.

Cuadro 11. Variables de análisis

GRUPO DE ANÁLISIS	VARIABLE	TIPO
Tiempo de almacenamiento	Tiempo de arrume	Independiente
Características del bagazo	% Humedad	Covariable
	% Fibra	Covariable
	% Cenizas	Covariable
	% Solubles en agua	Covariable
	pH	Covariable
	Acidez del bagazo	Covariable
Características del efluente	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	De respuesta
	Demanda Química de Oxígeno (DQO)	De respuesta

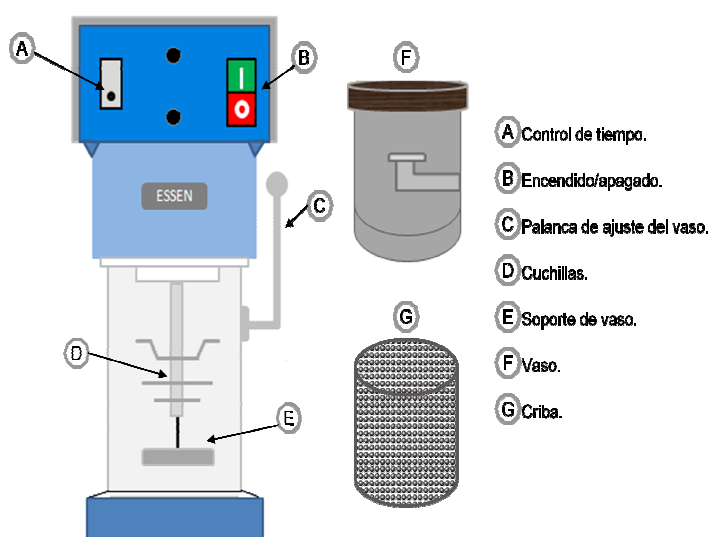
Fuente: Propia

5.2.1. Determinación de las características del bagazo. En cada muestra se determinó el porcentaje de humedad, fibra, cenizas, material soluble, pH y acidez, utilizando los procedimientos estandarizados de la empresa.

La determinación de **humedad** del bagazo se realizó mediante el procedimiento estandarizado por Carvajal POE N° 992040003, que se basa en encontrar el porcentaje de humedad a través de la diferencia de masa de la muestra después de estar una hora en la estufa de secado a una temperatura constante de 130 - 140 °C. *Es importante anotar que la estufa disponible para realizar el procedimiento de secado trabajaba a 105 °C.*

La determinación de **fibra** del bagazo se realizó mediante el procedimiento estandarizado por Carvajal POE N° 992040006, que se basa en procesar una muestra en el equipo desintegrador de bagazo (ver figura 4) a la que posteriormente se le realiza un lavado para eliminar el polvillo. El porcentaje de fibra se encuentra por diferencia de masas de la muestra desintegrada después de estar una hora en la estufa de secado.

Figura 4. Equipo desintegrador de bagazo



Fuente: Propia

La determinación de **cenizas** del bagazo se realizó mediante el procedimiento estandarizado por Carvajal POE N° 992040001, que se basa en procesar una muestra (previamente puesta en la estufa de secado durante una hora) en el molino pulverizador. El porcentaje de cenizas se encuentra por diferencia de masas de la muestra después de calcinar durante tres horas en la mufla a 550 °C.

La determinación de **solubles** del bagazo se realizó mediante el procedimiento estandarizado por Carvajal POE N° 992040005, que se basa en procesar una muestra en el equipo desintegrador de bagazo. El agua sobrante se filtra al vacío y se deseca en una capsula, la diferencia de masas nos arroja el contenido de

solubles de la muestra. Al filtrado se le determinó el **pH** y la **acidez total** mediante el procedimiento POE N° 9920550800.

5.2.2. Determinación de las características del efluente. En la determinación de las características del efluente, se utilizaron los procedimientos estandarizados por Carvajal: POE N° 992060009 “Determinación de **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)** en aguas residuales y naturales” y POE N° 992060012 “Determinación de **Demanda Química de Oxígeno (DQO)** en aguas por el método colorimétrico de reflujó cerrado”.

Estas características se determinaron al efluente líquido de escala piloto generado en la simulación del proceso de desmedulado para bagazo almacenado durante 95 días (71 muestras), que se obtiene al desintegrar 100 g de de bagazo en 1 litro de agua clarificada calentada a 50 °C, simulando las condiciones del proceso a escala industrial. El procedimiento de simulación se describe en el anexo A.

También se determinaron a 7 muestras de 1 litro obtenidas en el automuestreador de parshall de desmedulado, después del día 84 de almacenamiento, siguiendo el procedimiento de muestreo estandarizado establecido por Carvajal POE N° 992060004.

5.3. TIPO DE ESTUDIO, POBLACIÓN Y MUESTRA

Se realizó un estudio de tipo analítico descriptivo de medidas repetidas, tomando como universo de estudio el bagazo de caña que ingresa a la planta 2 de Carvajal Pulpa y Papel procedente de los diferentes ingenios que proveen la materia prima.

La población objetivo fue un arrume de bagazo de 11.060 toneladas, almacenadas a cielo abierto (tipo granel) durante 95 días en el patio M5.

Cuadro 12. Conformación del arrume de estudio

FECHA	ARRUME (Tn)	TIEMPO DE ARRUME (días)
08-09-2011	2.856,76	0
21-09-2011	7.289,90	13
29-09-2011	7.334,12	21
05-10-2011	11.060,19	27

Fuente: Registro cuarto de control de desmedulado

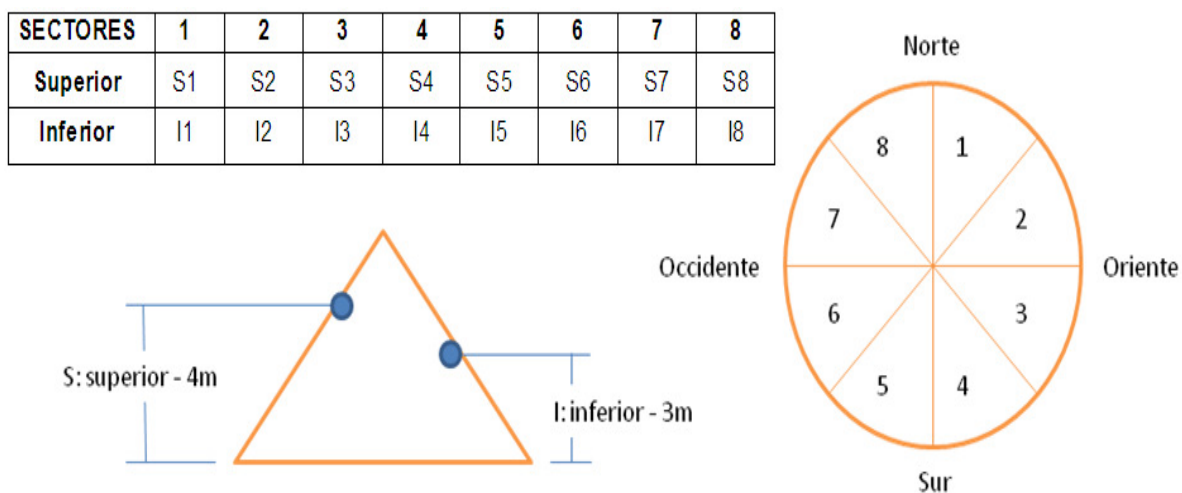
Figura 5. Arrume de estudio en el M5



Fuente: Cortesía Carvajal Pulpa y Papel

En el arrume de estudio se realizó un muestreo probabilístico de tipo aleatorio simple, con el propósito de disminuir factores perturbadores y evitar así el sesgo en la información. Para esto se definieron 16 sectores de muestreo (ver figura 6), dividiendo el arrume de manera vertical en superior e inferior, y de manera radial en la horizontal en subsectores numerados del 1 al 8. Las muestras superior e inferior se tomaron a 3 m y 4 m de altura vertical con respecto a la pila, en vista de que por encima de los 4 m el bagazo está lavado por efecto de las lluvias y por debajo de 3 m los componentes lixiviados y la humedad interfieren en la determinación de las características (Fernández, 2011).

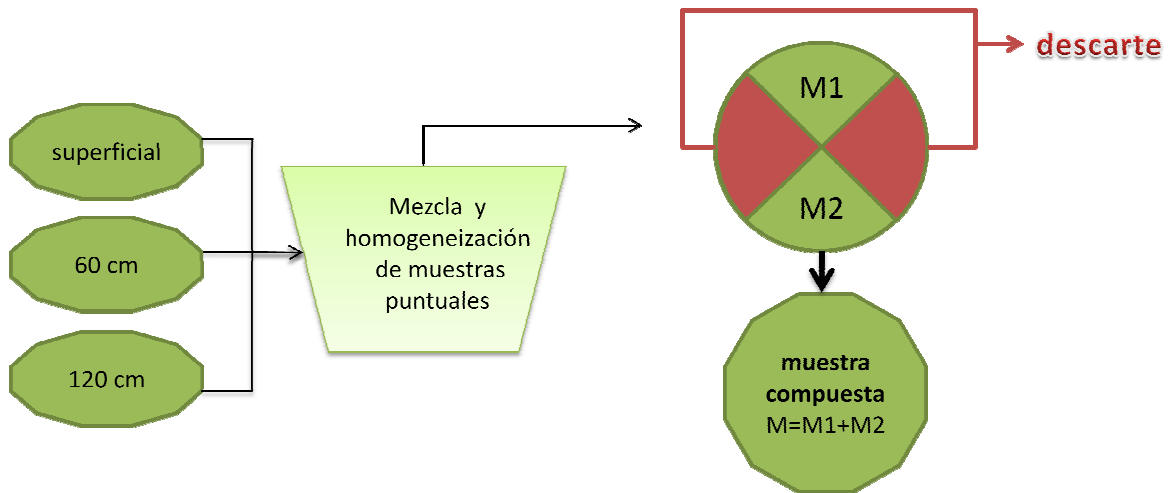
Figura 6. Sectorización en el arrume de estudio



Fuente: Propia

Se hicieron papeletas de los 16 sectores, y para cada día de muestreo se procedió a elegir aleatoriamente tres (3) de ellas. En cada punto de muestreo seleccionado con ayuda de las papeletas, se tomaron 3 muestras puntuales a diferente profundidad: una en la superficie, otra a 60 cm y la última a 120 cm, las cuales se mezclaron y homogeneizaron, realizando seguidamente el procedimiento de cuarteo (ver figura 7). Con el bagazo escogido se conformó una muestra compuesta de aproximadamente 1 Kg.

Figura 7. Método para conformar muestra compuesta



Fuente: Propia

La evaluación del cambio de las características del bagazo a través del tiempo se realizó, tomando seis muestras compuestas semanales durante 14 semanas, exceptuando la semana 1 y 2 en las cuales solo se tomaron 2 muestras y la semana 10 en la cual no se realizó el análisis de las muestras debido a una avería en el desintegrador de bagazo.

Figura 8. Evidencia fotográfica del muestreo



Fuente: Cortesía Carvajal Pulpa y Papel

5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para analizar el comportamiento de dichas variables con respecto al tiempo de almacenamiento, se procesaron los datos mediante el paquete estadístico SPSS recurriendo a estadísticos descriptivos, comparación de medias, medidas de correlación y de regresión para determinar el tiempo de almacenamiento de bagazo que causa el menor impacto en el efluente de desmedulado.

- Se aplicaron estadísticos descriptivos para el análisis del comportamiento de cada una de las variables de estudio durante el tiempo de almacenamiento.
- Se realizó una comparación entre los resultados de la escala piloto e industrial aplicando la prueba t student pareada, que permite comparar la diferencia entre las medias de la variable de respuesta (DQO o DBO₅) en cada situación (escala piloto e industrial) para determinar si existen diferencias significativas.

Se calculó el estadístico t , con $n - 1$ grados de libertad y se comparó con la tabla de distribución t de student, cuya interpretación es que si el valor calculado es menor al límite elegido por significancia estadística ($\alpha = 0.05$) entonces la hipótesis nula se rechaza en favor de la hipótesis alternativa. Para esta prueba se definió como hipótesis nula (H_0): las medias son iguales ($\mu_{piloto} = \mu_{industrial}$), y como hipótesis alternativa (H_a): las medias son diferentes ($\mu_{piloto} \neq \mu_{industrial}$).

- Aplicando un análisis de correlación bivariada se escogieron las variables predictoras para el modelo de regresión que tengan relación significativa con el tiempo de almacenamiento, de modo que se pueda determinar el tiempo de almacenamiento óptimo que genere menor impacto en el efluente en términos de DQO y DBO₅.

Para evaluar el grado de dependencia existente entre las variables se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman ya que este es menos sensible que el de Pearson cuando hay valores extremos o muy lejanos.

Finalmente se ajustó un modelo de predicción mediante regresión lineal, comparando los valores de R^2 ajustado. Se plantearon las ecuaciones de regresión:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p$$

Donde,

y_i : Variable de respuesta en el efluente: DQO o DBO_5 (mg/L)

β_0 : Coeficiente de regresión que define la intersección de las variables con el eje de la ordenada en términos de DQO o DBO_5 (mg/L)

β_j : Coeficientes de regresión parcial, representa la pendiente de la recta para un cambio de la característica del bagazo X_j

X_j : Característica en el bagazo (humedad, fibra, cenizas, solubles, pH, acidez) expresada en función del tiempo de almacenamiento

A la hora de plantear los modelos de regresión lineal múltiple conviene estudiar la existencia de multicolinealidad, a través de los coeficientes de determinación (R^2) de cada variable independiente con todas las demás y, relacionados con ellos, el factor de inflación de la varianza (FIV) y la tolerancia (T).

6. RESULTADOS

Antes de efectuar el análisis es necesario tener en cuenta dos situaciones que pudieron afectar los resultados:

- La primera, consistente en las lluvias que se presentaron desde la tercera semana de iniciado el experimento y que fueron disminuyendo hacia el final de las mediciones. Esta era una situación esperada considerando que en el diseño se reprodujeron las condiciones normales de almacenamiento a la intemperie.
- La segunda que obedeció a las necesidades de producción de la empresa, teniendo que consumirse el arrume de estudio 40 días antes de lo esperado. Esta situación se relacionó con la presencia de valores extremos en los resultados de las variables de estudio entre los días 83 y 90, por lo cual se decidió excluirlos del análisis.

El registro de datos de las características del bagazo y del efluente se presenta en el anexo B, donde se pueden observar resaltados en rojo los valores excluidos.

En el cuadro 13 se presentan los resultados de las variables de estudio y el análisis descriptivo de las mismas.

Cuadro 13. Características promedio del bagazo analizado

ALMACENAMIENTO	CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO						CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE	
<i>Tiempo (días)</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Cenizas (%)</i>	<i>Fibra (%)</i>	<i>Solubles (%)</i>	<i>pH</i>	<i>Acidez (mg/L)</i>	<i>DQO PILOTO (mg/L)</i>	<i>DBO5 PILOTO (mg/L)</i>
7	41,18	4,00	64,98	2,42	4,87	28,8	5991	2253,7
13	48,50	3,74	69,32	3,52	5,12	30,0	7880	2739,7

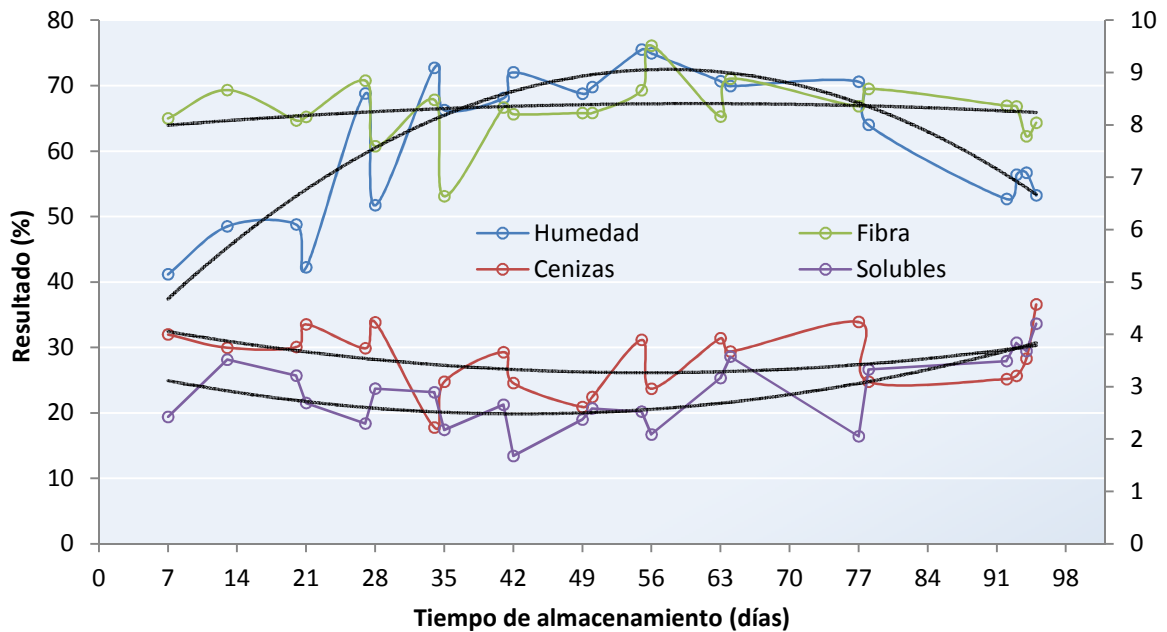
ALMACENAMIENTO	CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO						CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE	
Tiempo (días)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Solubles (%)	pH	Acidez (mg/L)	DQO PILOTO (mg/L)	DBO5 PILOTO (mg/L)
20	48,79	3,76	64,68	3,21	4,65	60,0	6837	2354,7
21	42,24	4,19	65,22	2,69	5,43	32,5	5536	2805,2
27	68,82	3,73	70,76	2,30	5,31	22,5	4929	1670,4
28	51,73	4,23	60,74	2,96	5,54	19,0	6391	2211,4
34	72,73	2,22	67,84	2,89	5,03	33,3	6061	1789,4
35	66,26	3,09	53,10	2,18	6,24	14,2	5213	1779,8
41	68,11	3,66	66,65	2,66	5,43	20,8	5748	1863,0
42	72,04	3,07	65,63	1,68	5,49	23,3	5883	1894,1
49	68,77	2,61	65,81	2,37	5,95	15,0	5474	1311,2
50	69,78	2,80	65,82	2,58	5,07	31,7	5455	1641,2
55	75,51	3,89	69,30	2,52	5,75	15,8	4793	1566,4
56	74,94	2,96	76,11	2,09	5,71	15,0	6975	1802,5
63	70,69	3,93	65,27	3,16	5,56	21,7	5621	1000,5
64	69,94	3,67	71,05	3,57	5,34	31,7	4764	898,9
77	70,60	4,24	66,85	2,05	5,83	11,7	4880	1359,0
78	64,01	3,10	69,51	3,33	5,96	15,0	4821	992,2
92	52,69	3,14	66,93	3,49	4,82	42,5	6825	2818,2
93	56,40	3,21	66,82	3,84	4,70	55,0	7164	2891,4
94	56,70	3,54	62,27	3,68	4,60	55,0	6912	2761,4
95	53,24	4,57	64,33	4,20	4,60	57,0	7336	3134,9
Estadísticos Descriptivos								
Cuenta	22	22	22	22	22	22	22	22
Media	61,98	3,52	66,32	2,88	5,32	29,6	5977	1979,0
Mediana	67,18	3,67	66,23	2,79	5,38	26,0	5816	1832,8
Desviación estándar	10,91	0,60	4,38	0,67	0,48	15,3	936	670,9
Mínimo	41,18	2,22	53,10	1,68	4,60	11,7	4764	898,9
Máximo	75,51	4,57	76,11	4,20	6,24	60,0	7880	3134,9
Nivel de confianza (95,0%)	4,56	0,25	1,83	0,28	0,20	6,4	391	280,3

Fuente: Propia

6.1. CARACTERÍSTICAS DEL BAGAZO

Como se observa en la figura 9, la humedad que inició en 41,18% presentó una tendencia parabólica, con un incremento en los primeros 55 días donde alcanzó su máximo valor (75,51%), para después caer gradualmente hasta un 53,24%; registrándose una media de 61,98%.

Figura 9. Variación de la humedad, cenizas, fibra y solubles



Fuente: Propia

Esta tendencia puede deberse a que el bagazo se mantuvo en las condiciones normales de almacenamiento expuesto a la intemperie, donde el régimen de lluvias podría considerarse un factor que facilita la degradación del mismo. Al respecto, es necesario recordar que en el diseño se consideró un control a esta situación tomando las muestras entre los 3 y 4 metros de altura vertical de la pila, para evitar errores por el lavado causado por las lluvias en la zona superior o el

acumulo de agua y lixiviados en la zona inferior, según lo recomendado por Fernández (2011).

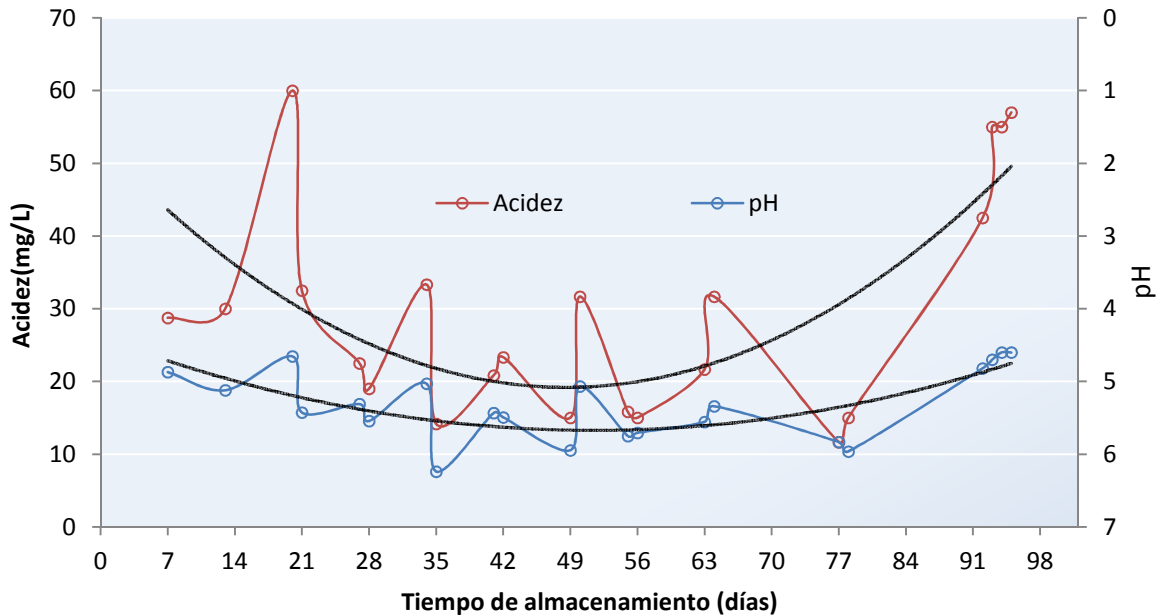
El cambio de la humedad en el tiempo se debe también al proceso de degradación donde hay una reacción de oxidación de la sacarosa en presencia de oxígeno, produciéndose CO_2 que se libera y H_2O que queda disponible para ser absorbida por el bagazo; fenómeno explicado por Aguilar (2010).

La fibra del bagazo mostró una mínima tendencia a la baja, con un valor promedio de 66,32%, mínimo de 53,10% y máximo de 76,11% con desviación estándar de 4,38%, indicando que el porcentaje de fibra se afecta poco por el tiempo de almacenaje; sin embargo, se observó físicamente que el tamaño de fibra se redujo a medida que se da el proceso de degradación por hongos y microorganismos, afectando la calidad de la materia prima.

El porcentaje de cenizas osciló entre 2,22 y 4,57 con una media de 3,52 y desviación estándar de 0,60% mostrando una tendencia parabólica inversa a la humedad; situación que se esperaba entendiendo que el régimen de lluvias afecta en alguna medida el porcentaje de cenizas, presumiblemente porque se lava el polvillo del bagazo. Una vez más se evidencia que el muestreo permitió reflejar las condiciones normales de almacenamiento, dado que en los registros históricos del laboratorio de bagazo las cenizas se encuentran en un rango de 2% a 5%.

El porcentaje de solubles mostró una tendencia similar a las cenizas, aunque tuvo mayores valores hacia el final del almacenamiento, presentado un valor medio de 2,88, un mínimo de 1,68 y máximo de 4,20, con desviación estándar de 0,67%.

Figura 10. Variación del pH y acidez



Fuente: Propia

La figura 10 permite observar que tanto la acidez como el pH presentan una tendencia parabólica, en una relación inversa como se espera.

Durante las mediciones se mantuvo un pH ácido entre 4,60 y 6,24 para un promedio de 5,32 y desviación estándar de 0,48. Al inicio se presentó una tendencia creciente con algunos picos para caer después del día 49, lo cual puede deberse a la presencia de ácidos generados en las reacciones químicas que ocurren al interior del arrume, como la conversión de glucosa y fructosa en ácido láctico y en etanol que por oxidación se transforma en ácido acético (Aguilar, 2010).

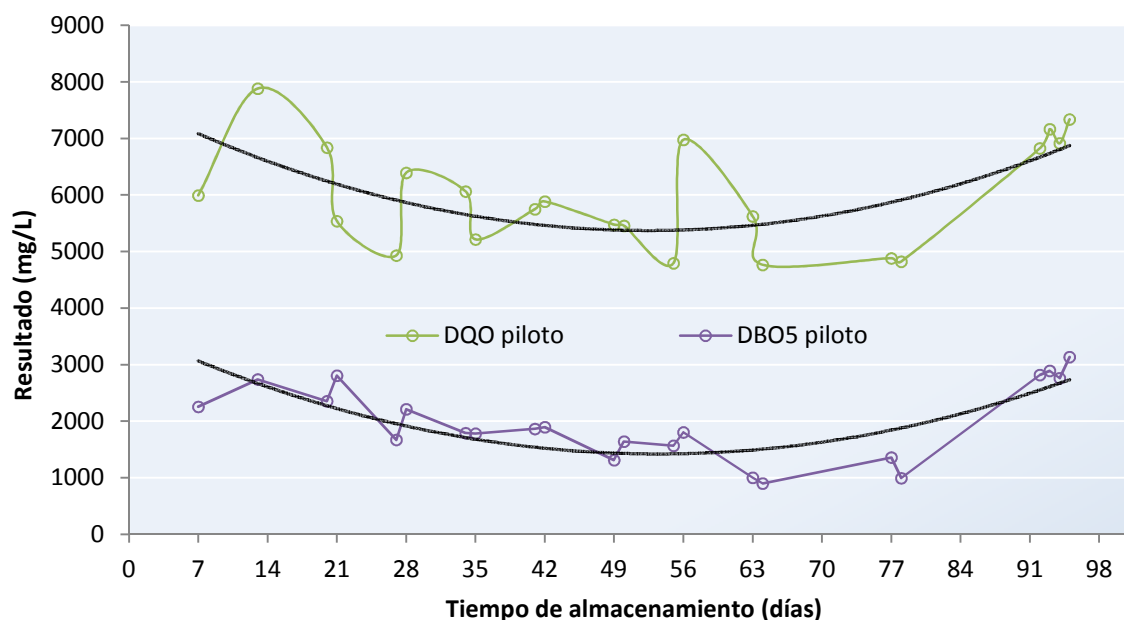
La acidez presentó valores entre los 11,7 y 60,0 con un promedio de 29,6 y desviación estándar de 15,3 mg-CaCO₃/L, mostrando una alta variabilidad en los datos. La caída en los valores de acidez se presenta hasta el día 49 donde inicia un ascenso marcado hasta el final de la medición. El incremento de la acidez es

un efecto inevitable en el deterioro del bagazo por la prehidrólisis ácida de los materiales celulósicos ocurrida durante el almacenamiento, donde suceden las mismas reacciones y se forman las mismas sustancias explicadas en el caso del pH (Aguilar, 2010).

6.2. CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE

En la figura 11 se observan los cambios de DQO y DBO₅ en el efluente a escala piloto. Estas variables presentan tendencias parabólicas similares, que mantienen una diferencia constante a lo largo del tiempo.

Figura 11. Variación de la DQO y DBO₅ a escala piloto



Fuente: Propia

Los resultados de DQO oscilan entre un mínimo de 4746 y un máximo de 7880, para una media de 5977 y desviación estándar de 936 mg-O₂/L, presentándose una tendencia decreciente hasta el día 64 a partir del cual se presenta un alza

significativa. El cambio en la DBO₅ al igual que la DQO, presenta una tendencia decreciente hasta el día 64 donde toma su mínimo valor de 898,9 mg-O₂/L, a partir del cual se presenta un alza hasta el día 95 en que presenta su máximo valor de 3134,9. Para esta variable se da un promedio de 1979,0 y una desviación estándar de 670,9 mg-O₂/L que denota una gran variación en los datos.

Esta situación puede deberse al aumento de humedad, que generó dilución del material orgánico en el bagazo y por ende una reducción de la DQO y DBO₅.

6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LAS ESCALAS PILOTO E INDUSTRIAL

A partir del día 84 de almacenamiento se realizaron 7 mediciones al efluente industrial del proceso de desmedulado alimentado con el arrume de bagazo de alto tiempo de almacenamiento, que permitieron efectuar una comparación de medias entre la simulación y la realidad mediante la prueba t pareada. Para determinar si existen diferencias significativas se analizaron los siguientes pares: DQO piloto – DQO industrial y DBO₅ piloto – DBO₅ industrial. El cálculo de la prueba t pareada por SPSS se reporta en el anexo C.

Cuadro 14. Pares de comparación entre las escalas piloto e industrial

ALMACENAMIENTO	CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE			
<i>Tiempo (días)</i>	<i>DQO piloto (mg/L)</i>	<i>DQO industrial (mg/L)</i>	<i>DBO₅ piloto (mg/L)</i>	<i>DBO₅ industrial (mg/L)</i>
84	9105	11810	4209,7	2778,9
89	8461	8735	2732,8	3088,6
90	8324	9279	2105,2	2123,7
92	6825	4025	2818,2	2687,7
93	7164	4403	2891,4	2816,1
94	6912	4345	2761,4	2326,2
95	7336	4639	3134,9	2358,5

Fuente: Propia

Cuadro 15. Prueba de muestras relacionadas

	n	Correlación	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral) - 2 colas
Par 1: DQO piloto – DQO industrial	7	0,986	0,000	1,149	6	0,294
Par 2: DBO ₅ piloto - DBO ₅ industrial	7	0,390	0,387	1,575	6	0,166

Fuente: Propia

Analizando el estadístico de prueba con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$, se observa que el valor P calculado de los pares es de 0,294 y 0,166 respectivamente, siendo mayores a 0,05 lo que indica que siguen la distribución de Student. Por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula H_0 que valida la igualdad de las medias de los diferentes pares, demostrándose que los efluentes a escala industrial y piloto son equivalentes.

6.4. AJUSTE DEL MODELO DE REGRESIÓN

Para escoger las mejores variables predictoras, se realizó un análisis de correlación bivariada (ver anexo D) que se resume en el cuadro 16.

Cuadro 16. Correlaciones bivariadas VS. tiempo de almacenamiento

Variable	n	Coefficiente de correlación Spearman	Sig.
Humedad	59	0,335**	0,009
Cenizas	59	-0,090	0,497
Fibra	59	0,105	0,430
Solubles	59	0,222	0,091
pH	59	0,096	0,468
Acidez	59	-0,152	0,250
DQO piloto	59	-0,005	0,970
DBO ₅ piloto	59	-0,240	0,068

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Fuente: Propia

El análisis de correlación demuestra que únicamente la variable humedad se afectó significativamente en el tiempo de almacenamiento. Situación que se relaciona con las lluvias que se presentaron durante el experimento y que perturbaron fuertemente los resultados del estudio. Por esta razón no se puede establecer una variación de la DQO y DBO₅ por el tiempo de almacenamiento, sino a través de la variable humedad.

En el cuadro 17 se observan las correlaciones bivariadas para la variable humedad, que indican que las variables pH, acidez, DQO y DBO₅ cambiaron significativamente con la variación de la humedad.

Cuadro 17. Correlaciones bivariadas VS. humedad

Variable	n	Coefficiente de correlación Spearman	Sig.
Cenizas	59	-0,250	0,056
Fibra	59	0,260*	0,047
Solubles	59	-0,154	0,245
pH	59	0,452**	0,000
Acidez	59	-0,581**	0,000
DQO piloto	59	-0,429**	0,001
DBO ₅ piloto	59	-0,593**	0,000
*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral)			
**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)			

Fuente: Propia

Entonces se puede plantear un análisis de regresión que permita de manera aproximada evaluar cual es el tiempo de almacenamiento, que en función de la humedad genere el menor impacto en el efluente. Para esto se utilizará el siguiente planteamiento:

$$\text{humedad: } f(\text{tiempo de almacenamiento}) ;$$

$DQO, DBO_5: f(\text{humedad})$; reemplazando la variable humedad se tiene que:

$$DQO, DBO_5: f(\text{tiempo de almacenamiento})$$

En el anexo E, se encuentran las regresiones calculadas para los planteamientos propuestos. En el cuadro 18 se presenta el resumen de los modelos lineales para la DQO y la DBO₅, y el modelo cuadrático para la humedad, dado que estos presentan el mejor ajuste:

Cuadro 18. Modelos de regresión

Variable independiente	R cuadrado	Variable modelo	Coefficientes	Error típico	t	Sig.
Humedad	0,631	t: Tiempo	1,627	0,168	9,710	0,000
		t ² : Tiempo ^ 2	-0,014	0,002	-9,713	0,000
		Constante	25,639	4,003	6,404	0,000
DQO	0,187	h: Humedad	-40,605	11,215	-3,620	0,001
		Constante	8414,331	720,888	11,670	0,000
DBO ₅	0,346	h: Humedad	-36,178	6,595	-5,486	0,000
		Constante	4166,005	423,866	9,828	0,000

Fuente: Propia

Los modelos de regresión establecen las siguientes ecuaciones:

$$1) DQO = 8414,331 - 40,605 h$$

$$2) DBO_5 = 4166,005 - 36,178 h$$

$$3) Humedad = 25,639 + 1,627 t - 0,014 t^2$$

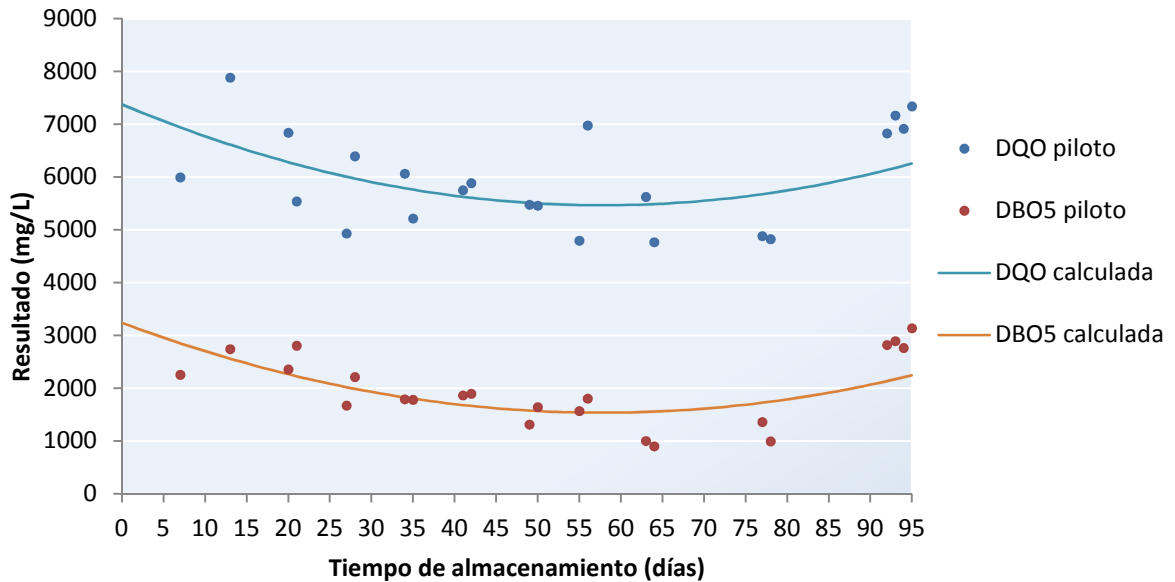
Reemplazando 3) en 1) y 2), se tienen las ecuaciones predictoras:

$$DQO = 7373,234 - 66,077 t + 0,572 t^2$$

$$DBO_5 = 3238,412 - 58,873 t + 0,509 t^2$$

Los valores calculados para DQO y DBO₅ (ver anexo F) se representan en la figura 12, en la que se observa un ajuste próximo a los datos obtenidos a escala piloto. Es necesario realizar una comprobación al modelo de regresión para saber si esta es adecuada, para lo cual se evalúa la hipótesis de normalidad de los residuos para conocer la inferencia de estos en el modelo.

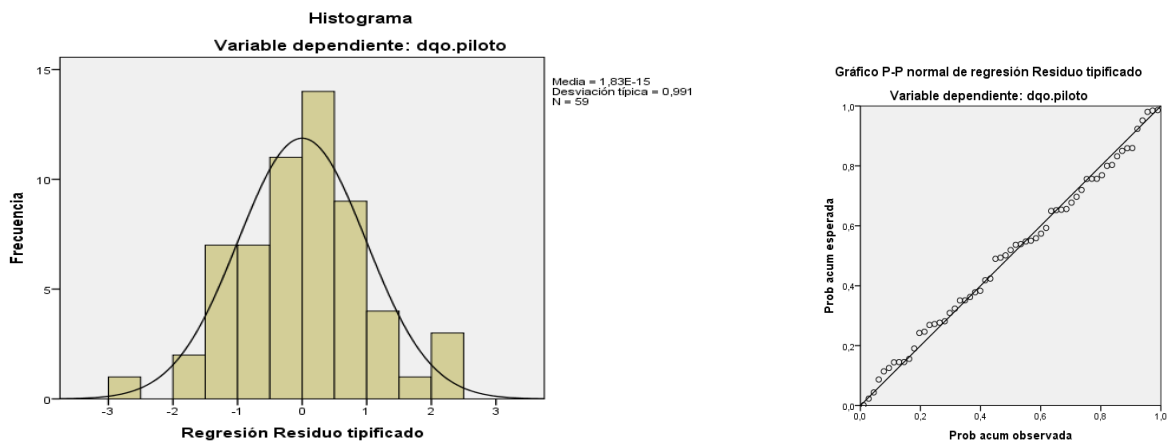
Figura 12. Variación de la DQO y DBO₅ calculada



Fuente: Propia

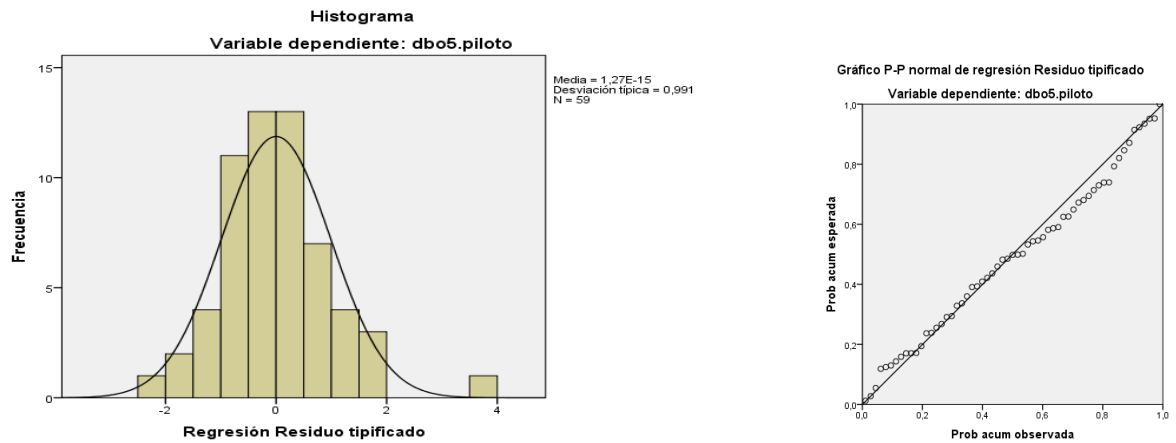
En las figuras 13 y 14, se observa una distribución normal de los errores para las regresiones DQO y DBO₅ respectivamente, lo que indica que hay linealidad en el modelo de regresión y no existen problemas por datos atípicos, lo que sugiere que el ajuste realizado para las predicciones es adecuado.

Figura 13. Histograma y gráfico probabilístico errores en DQO calculada



Fuente: Propia

Figura 14. Histograma y gráfico probabilístico errores en DBO₅ calculada



Fuente: Propia

En el cuadro 19, se resume los resultados de coeficiente de determinación R^2 y la estadística de Durbin-Watson que prueba la independencia de los residuos, es decir, que valores observados en una variable para un individuo no deben verse influenciados por los valores de la variable en otros individuos.

Cuadro 19. Análisis de los residuales

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típico de la estimación	Durbin-Watson
DQO	0,432 ^a	0,187	0,173	1007,219	1,571
DBO ₅	0,588 ^a	0,346	0,334	592,2498	1,669

a. Variables predictoras: (Constante), humedad.bagazo

Fuente: Propia

Para los modelos propuestos el coeficiente de Durbin-Watson tiene un valor cercano a 2, lo que indica ausencia de autocorrelación, que es lo esperado en el modelo de regresión. Se puede concluir entonces que los modelos propuestos DQO y DBO₅ en función del tiempo de almacenamiento tienen validez, dada la distribución normal e independencia que presentan los residuos.

Los coeficientes de determinación obtenidos son bajos, pero considerando que los aspectos analizados son satisfactorios podemos considerar que por lo menos el modelo predictivo para la DBO₅ ($R^2 = 0,334$) tiene un buen ajuste y puede utilizarse con confianza; el modelo para la predicción de la DQO debe utilizarse con reserva. Por otra parte es interesante anotar que un R^2 alto en el modelo de DBO₅ podría indicar la presencia de multicolinealidad, que no es el caso.

6.5. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO QUE GENERE MENOR IMPACTO EN LA CALIDAD DEL EFLUENTE

Para determinar el tiempo de almacenamiento del bagazo que genere el menor impacto en la calidad del efluente del proceso de desmedulado se utiliza la ecuación de predicción de DBO₅, en vista que esta genera mayor confianza.

En el cuadro 20, se presentan los valores calculados para la DBO₅ y los datos a escala piloto, en el que se observa que para el día 58 se presenta la menor DBO₅ con un valor de 1536, mg-O₂/L.

Cuadro 20. Datos estimados de DBO₅

Tiempo	DBO5 piloto	DBO5 calculada	Tiempo	DBO5 piloto	DBO5 calculada
7	2253,7	2851,3	55	1566,4	1540,8
13	2739,7	2559,1	56	1802,5	1538,5
20	2354,7	2264,6	58	-	1536,8
21	2805,2	2226,6	63	1000,5	1550,5
27	1670,4	2020,1	64	898,9	1556,3
34	1789,4	1825,4	78	992,2	1744,5
35	1779,8	1801,7	92	2818,2	2132,2
41	1863,0	1680,6	93	2891,4	2167,5
42	1894,1	1664,0	94	2761,4	2203,9
49	1311,2	1576,3	95	3134,9	2241,2

Fuente: Propia

7. CONCLUSIONES

- ✚ Las características físico-químicas del bagazo: % humedad, % ceniza, % fibra, % material soluble, pH y acidez total estudiadas durante 95 días de almacenamiento, presentaron variaciones con un comportamiento parabólico, de las cuales solo la humedad mostró cambios estadísticamente significativos.
- ✚ Dado que el experimento reprodujo las condiciones normales de almacenamiento del bagazo a granel y expuesto a la intemperie, la humedad del arrume se afectó por la presencia de lluvias que determinaron su comportamiento parabólico.
- ✚ El pH, la acidez y la fibra tuvieron una relación significativa con los cambios en la humedad y son indicadores del deterioro en el arrume de bagazo.
- ✚ Los parámetros de medición de la carga orgánica del efluente de desmedulado: DQO y DBO_5 , no mostraron cambios significativos en relación con el tiempo de almacenamiento, por lo cual no es posible establecer el tiempo de almacenamiento que genere menor impacto en la calidad del efluente.
- ✚ La calidad del efluente de desmedulado a escala piloto tuvo un comportamiento inversamente proporcional a la humedad que al incrementarse hace que por dilución disminuyan los parámetros de DQO y DBO_5 .
- ✚ Con el uso del modelo de regresión construido de acuerdo al comportamiento de la humedad en función del tiempo de almacenamiento y la DBO_5 como la variable de resultado que presentó el mejor ajuste, se estima que a los 58 días

de almacenamiento se presentaría el menor DBO_5 , en similares condiciones a las del arrume utilizado en el experimento.

- ✚ El análisis estadístico permite concluir que la calidad en el efluente mejora a medida que la humedad aumenta, es decir, en las condiciones normales de almacenamiento del bagazo en la empresa, el efecto de las lluvias es positivo para mejorar la calidad del efluente de desmedulado.

8. RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar un estudio en que se tenga un arrume de control, en el que se realice un almacenamiento bajo techo para que las características del bagazo no cambien por efectos de las lluvias y se pueda así evaluar el impacto que tiene el tiempo de almacenamiento sobre la calidad del efluente de desmedulado.
- ❖ Evaluar las características del bagazo por vía microbiológica, para el análisis de sustancias generadas al interior de la pila según el tipo de microorganismos que la habitan y microscópica para evaluar el deterioro de la calidad de la fibra y el efecto en efluente de desmedulado.
- ❖ Realizar un estudio del aporte de la carga orgánica del agua clarificada al efluente del proceso desmedulado.
- ❖ Validar el procedimiento de simulación del proceso de desmedulado en laboratorio que se encuentra en el anexo A.

9. BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR RIVERA, Noé. Efecto del almacenamiento de bagazo de caña en las propiedades físicas de celulosa grado papel. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. México, 2010. [En línea]. Disponible en internet:

<http://www.revistas.unam.mx/index.php/ingenieria/article/download/26991/25146>

CARVAJAL ORTIZ, R. Estadística para análisis epidemiológico. 1 ed. Santiago de Cali, 2005.

CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno: Ensayo efluente de desmedulado. Guachené, 2010.

CARVAJAL PULPA Y PAPEL. Informe Interno: Evaluación del bagazo de alto tiempo de almacenamiento, su impacto en el proceso de desmedulado y el efluente de pulpa Propal planta 2. Guachené, 2010

CHEN, James C. Manual del azúcar de caña para fabricantes de azúcar de caña y químicos especializados. Limusa Editores. México, 2000

DIEZ TORRES, F. y DULÓN GÓMEZ, J. Experiencias para el incremento de la vida útil de los martillos de los desmeduladores del bagazo de caña. 2004. [En línea]. Disponible en internet:

<http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/download/204/539>

ESCUELA SUPERIOR DE INFORMÁTICA. Correlaciones con SPSS. Prácticas estadísticas. [En línea]. Disponible en internet:

http://www.uclm.es/profesorado/raulmmartin/Estadistica/PracticasSPSS/CORRELACION_CON_SPSS.pdf

FERNÁNDEZ, Juan. Proyecto Cuba 9. Acompañamiento en el muestreo del arrume de bagazo. Carvajal Pulpa y Papel Planta 2. Guachené, 2011.

ICIDCA - INSTITUTO CUBANO DE INVESTIGACIONES SOBRE LOS DERIVADOS DE LA CAÑA DE AZÚCAR. El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados. Editorial Científico Técnica. Habana, 1982.

LINTU, Leo. Paneles, papel y cartón hechos con residuos agrícolas. Deposito de documentos de la FAO. [En línea]. Disponible en Internet:

<http://www.fao.org/docrep/l2015s/l2015s03.htm>

MERA SALAZAR, Gustavo Adolfo. Aplicación del modelo gerencia del día a día en la etapa de blanqueo para reducir el consumo de químicos en la de pulpa blanca. Productora de papales PROPAL S.A. Planta N° 2; Caloto – Cauca. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Popayán, 2007.

MOLINA, Rafael S. Papel periódico de bagazo: Calidad y aspectos técnico-económicos. UIP Cuba-9. Cuba, s.f.

MOLINERO, Luis. Construcción de modelos de regresión multivariantes. 2002. [En línea]. Disponible en internet:

<http://www.seh-lelha.org/pdf/regresion1.pdf>

MONTGOMERY, Douglas C. Diseños y análisis de experimentos. 2 ed. Limusa Wiley, México, 2004.

PERDOMO VALENCIA, Viviana Constanza. Determinación de los factores ambientales del área de pulpa en la empresa productora de papel, PROPAL S.A. planta 2, Caloto-Cauca. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Popayán, 2007.

PROPAL S.A. Manufactura del papel: Carta técnica comercial. Caloto, 2003.

RODA. Manual para el manejo de la evidencia en casos de contaminación hídrica, caso Panamá. 2001. [En línea]. Disponible en internet:

www.elaw.org/system/files/Parte+Científica+espanol.doc

SÁNCHEZ ORTEGA, J. Actualización de los procedimientos para determinar fibra, cenizas y humedad en bagazo y polvillo del negocio de fibra pulpa en PROPAL S.A. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Popayán, 2009.

TAR INNOVA. ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE SEVILLA. TECNOLOGÍA AMBIENTAL. GRUPO TAR. Características de las aguas residuales. [En línea]. Disponible en internet:

http://alojamientos.us.es/grupotar/tar/formatec/tagua/t07_caracteristicas_aguas_residuales.pdf

TRIANA, Omar. Et al. Atlas del bagazo de la caña de azúcar. 1990. [En línea]. Disponible en internet:

http://www.sugarresearch.library.qut.edu.au/102/1/Atlas_of_Sugarcane_Bagasse.pdf

UNAL. Línea de profundización ambiental. [En línea]. Disponible en internet:

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/lp-1_ambiental_+.pdf

ANEXOS

Anexo A. Procedimiento de simulación del proceso de desmedulado

CARVAJAL PULPA Y PAPEL	PROCEDIMIENTO DE SIMULACION DEL PROCESO DE DESMEDULADO	Elaborado por: JULIO CESAR BELALCÁZAR JUAN CARLOS AGUILAR UNIVERSIDAD DEL CAUCA
-------------------------------	---	--

1. OBJETIVO

Simular el proceso de desmedulado en laboratorio y obtener un filtrado con características similares al efluente del negocio.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica para los laboratorios del proceso de desmedulado de CARVAJAL PULPA Y PAPEL S.A.

3. EQUIPOS/REACTIVOS/SEGURIDAD/AMBIENTAL

3.1 EQUIPOS:

- 3.1.1 Balanza digital con precisión de 0,1 g.
- 3.1.2 Desintegrador de cuchillas para bagazo con canastilla de acero inoxidable perforada con orificios de 1/8".
- 3.1.3 Estufa con plancha agitadora.
- 3.1.4 Tamiz malla N° 100 de diámetro 8".
- 3.1.5 Tamiz malla N° 20 de diámetro 8".
- 3.1.6 Beaker de 1000 mL.
- 3.1.7 Beaker plástico de 500 mL.
- 3.1.8 Recipiente plástico de 500 mL.
- 3.1.9 Cronómetro.

3.2 REACTIVOS

No requiere reactivos.

3.3 SEGURIDAD

- 3.3.1 Para la toma de muestras y el desarrollo del análisis utilizar los implementos de seguridad adecuados, de acuerdo con la norma corporativa para el uso de elementos de protección personal 991450041.
- 3.3.2 Verificar que el sistema de seguridad del equipo desintegrador esté en buenas condiciones y funciona en forma correcta; es decir; el equipo no deberá accionar (enclavamiento) sin estar montado correctamente el vaso metálico y el sensor de seguridad estar haciendo contacto la superficie del vaso.
- 3.3.3 Consultar inmediatamente al médico en caso de cualquier accidente o incidente.

Anexo A. Procedimiento de simulación del proceso de desmedulado

3.4 AMBIENTAL

- 3.4.1 El manejo de las muestras sobrantes, los residuos de los análisis y el tratamiento de los recipientes utilizados, se deben efectuar de acuerdo al procedimiento para tratamiento de residuos de laboratorio 992010016.

4. MUESTREO/PROCEDIMIENTO

- 4.1 Para la toma de muestras de bagazo y polvillo referirse a los siguientes procedimientos operacionales estándar (POE):

FASE	PLANTA	TITULO PROCEDIMIENTO	POE Nº
DESMEDULADO	1	Toma de muestras para análisis químico	121010001
	2	Toma de muestras e inspección de bagazo, fibra y polvillo.	222030001

4.2 PROCEDIMIENTO

4.2.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 4.2.1.1 Realizar este procedimiento durante un tiempo moderado para evitar cambios significativos en la humedad de la muestra.
- 4.2.1.2 Depositar la muestra total de bagazo contenido en las bolsas plásticas de muestreo dentro de un recipiente abierto que pueda contener y permita homogeneizar fácilmente la cantidad total de muestra, o en su defecto usar una superficie plana.
- 4.2.1.3 Tomar con ambas manos porciones generosas de la muestra e integrarlas entre sí, hasta homogeneizar por completo el total de la muestra; asegurar que al final de esta homogeneización aun no ha quedado material comprimido, de lo contrario se tendrá que desmenuzar con los dedos hasta obtener una muestra completamente homogénea.

4.2.2 TOMA DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS

- 4.2.2.1 Tomar el tamiz Nº 100 limpio y seco y tarar su peso a 0,0 g. en una balanza digital con una aproximación de 0,1 g.
- 4.2.2.2 Pesar sobre el tamiz, 100,0 g. exactos de la muestra con una precisión de 0,1 g. NOTA: Tomar aleatoriamente de la muestra homogeneizada incrementos pequeños hasta obtener una muestra compuesta.
- 4.2.2.3 Depositar la muestra pesada en el tamiz, en el interior del vaso metálico del equipo desintegrador.
- 4.2.2.4 Adicionar un volumen de agua clarificada de 1 L medido en una probeta y previamente calentada.
- 4.2.2.5 Sujetar el vaso metálico del desintegrador al equipo de desintegración.

Anexo A. Procedimiento de simulación del proceso de desmedulado

- 4.2.2.6 Ajustar el temporizador del equipo desintegrador a 10 min., o en su defecto medir el tiempo con un cronómetro.
- 4.2.2.7 Encender el equipo de desintegración para someter la muestra a la acción de las cuchillas. NOTA: Si el equipo no tiene incluido un temporizador, este se deberá apagar una vez hayan transcurrido 10 min., medidos con el cronometro.
- 4.2.2.8 Desacoplar cuidadosamente el vaso metálico del equipo desintegrador y verter la solución sobre un tamiz N° 20 limpio y seco; resibiendo cuidadosamente el filtrado en beaker de 500 mL. hasta obtener un volumen aproximado de filtrado de 300 mL.
- 4.2.2.9 Verter el contenido del beaker en un recipiente plástico con tapa.
- 4.2.2.10 Realizar al filtrado los procedimientos que se requieran.

5. REFERENCIAS

- 5.1 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE CENIZAS EN BAGAZO Y POLVILLO N° 992040001.
- 5.2 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN BAGAZO Y POLVILLO N° 992040003.
- 5.3 DETERMINACIÓN DE SOLUBLES EN BAGAZO Y POLVILLO N° 992040005.
- 5.4 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE FIBRA EN BAGAZO Y POLVILLO N° 992040006.
- 5.5 DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ TOTAL EN AGUAS N° 992050800.
- 5.6 PROCEDIMIENTO PARA AFORO, MUESTREO Y TRANSPORTE DE MUESTRAS N°. 992060004.
- 5.7 PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINACIÓN DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO₅) EN AGUAS RESIDUALES Y NATURALES N° 992060009.
- 5.8 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) EN AGUAS POR EL MÉTODO COLORIMÉTRICO DE REFLUJO CERRADO N° 992060012

Anexo B. Base de datos estudio

ALMACENAMIENTO	CARACTERÍSTICAS BAGAZO						CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE					
Tiempo (días)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Solubles (%)	pH	Acidez (mg/L CaCO3)	DQO PILOTO (mg/L)	DBO5 PILOTO (mg/L)	DQO INDUSTRIAL (mg/L)	DBO5 INDUSTRIAL (mg/L)	DQO AGUA CLARIFICADA (mg/L)	DBO5 AGUA CLARIFICADA (mg/L)
7	41,35	3,30	69,02	2,67	4,84	27,5	6115	2245,7	-	-	4019	1842,9
7	41,00	4,70	60,95	2,18	4,90	30,0	5867	2261,7	-	-		
13	47,28	3,87	67,53	2,76	5,40	27,5	7194	2834,3	-	-	5349	1975,3
13	49,72	3,62	71,12	4,27	4,84	32,5	8566	2645,1	-	-		
20	48,28	2,28	61,87	2,89	4,59	72,5	5993	2258,8	-	-	6964	1983,8
20	48,66	3,53	62,56	3,43	4,39	72,5	7025	2379,0	-	-		
20	49,42	5,47	69,59	3,31	4,98	35,0	7493	2426,3	-	-		
21	42,20	4,11	68,58	3,85	5,42	27,5	4980	2008,5	-	-	4258	684,5
21	45,40	3,14	61,98	2,05	4,90	50,0	5960	4791,0	-	-		
21	39,12	5,32	65,11	2,17	5,96	20,0	5669	1616,0	-	-		
27	74,54	4,35	69,44	2,49	5,43	22,5	4319	1590,9	-	-	9826	2029,2
27	68,46	3,55	72,67	1,76	5,38	20,0	5322	1572,1	-	-		
27	63,46	3,30	70,17	2,65	5,12	25,0	5147	1848,1	-	-		
28	48,10	4,13	49,09	2,75	5,61	17,0	6560	2176,4	-	-	8854	2431,7
28	52,38	4,25	64,26	2,83	5,38	22,5	6436	2268,3	-	-		
28	54,70	4,31	68,87	3,31	5,64	17,5	6177	2189,5	-	-		
34	70,94	2,75	67,17	2,79	4,85	40,0	5508	1435,4	-	-	11744	1634,9
34	78,92	1,16	64,71	2,22	5,16	22,5	6650	2154,6	-	-		
34	68,34	2,75	71,64	3,67	5,08	37,5	6026	1778,3	-	-		
35	65,00	3,12	50,74	1,55	6,06	15,0	4710	1719,6	-	-	3555	1342,6
35	57,76	2,68	53,50	1,42	6,26	15,0	5365	1940,2	-	-		
35	76,02	3,48	55,05	3,56	6,40	12,5	5564	1679,6	-	-		
41	78,38	3,32	65,86	3,00	5,52	17,5	4877	1556,8	-	-	4960	1627,9
41	57,70	4,42	66,19	3,03	5,75	22,5	6259	2266,8	-	-		
41	68,24	3,24	67,88	1,94	5,03	22,5	6107	1765,4	-	-		
42	77,14	3,30	58,27	0,71	5,32	22,5	6251	1709,5	-	-	4755	1663,9
42	68,10	3,69	65,83	3,12	5,69	25,0	5770	2306,8	-	-		
42	70,88	2,21	72,80	1,20	5,47	22,5	5629	1665,9	-	-		
49	68,34	2,90	68,35	2,39	6,01	15,0	5446	1367,4	-	-	3399	1740,5
49	72,48	2,55	64,39	2,62	5,79	15,0	5172	1281,0	-	-		
49	65,50	2,38	64,70	2,11	6,04	15,0	5803	1285,2	-	-		
50	64,86	2,44	67,39	2,27	4,59	30,0	6175	1949,1	-	-	9519	1579,6
50	70,96	3,01	64,05	2,70	4,35	50,0	5147	1788,4	-	-		
50	73,52	2,96	66,01	2,79	6,26	15,0	5044	1186,0	-	-		
55	76,86	3,03	72,60	2,62	5,60	15,0	3283	2055,6	-	-	4644	2867,3
55	71,48	4,86	67,04	2,04	5,70	17,5	6360	1367,8	-	-		
55	78,20	3,79	68,26	2,91	5,95	15,0	4737	1275,9	-	-		
56	76,48	2,46	82,48	1,70	5,76	17,5	5828	1699,9	-	-		

Anexo B. Base de datos estudio

56	73,10	3,38	71,38	2,77	5,67	12,5	7661	1883,8	-	-	6872	1996,0
56	75,24	3,04	74,47	1,79	5,69	15,0	7435	1823,8	-	-		
63	70,92	3,46	71,39	2,80	6,30	15,0	6236	1035,7	-	-		
63	66,70	3,20	61,98	3,06	4,73	30,0	5833	1085,2	-	-	4168	952,0
63	74,44	5,11	62,44	3,64	5,64	20,0	4795	880,7	-	-		
64	78,96	3,92	73,38	3,33	6,10	15,0	4144	747,5	-	-		
64	76,54	3,52	70,59	4,42	5,90	15,0	3936	696,7	-	-	4730	824,5
64	54,32	3,58	69,18	2,97	4,02	65,0	6212	1252,5	-	-		
77	69,40	3,53	68,10	1,58	6,15	10,0	5013	1288,6	-	-		
77	78,54	4,89	75,12	2,58	5,74	10,0	5018	1322,4	-	-	7835	1872,4
77	63,86	4,29	57,33	2,00	5,61	15,0	4608	1466,1	-	-		
78	48,58	3,76	74,99	2,27	5,74	20,0	5423	1081,1	-	-		
78	72,18	2,52	70,31	2,73	6,28	12,5	6528	990,7	-	-	5316	1122,8
78	71,28	3,01	63,23	4,98	5,87	12,5	2513	904,7	-	-		
83	74,40	2,60	52,97	5,48	4,74	27,5	6509	2561,0	-	-		
83	44,68	2,90	48,73	4,04	3,34	655,0	15420	7281,9	-	-	8713	3156,1
83	55,04	4,76	48,04	3,56	3,38	757,5	17458	6704,4	-	-		
84	54,96	4,05	64,65	3,53	3,58	432,5	9520	4259,6				
84	50,94	3,00	64,08	2,95	3,70	362,5	9401	4679,6	11810	2778,9	6369	2534,8
84	49,60	4,16	69,68	3,94	3,60	300,0	8394	3689,8				
89	58,34	3,38	60,20	4,40	3,69	425,0	8427	2549,4				
89	55,84	2,61	66,49	4,30	3,78	352,5	8348	2712,8	8735	3088,6	4738	1455,1
89	52,52	2,53	64,03	3,89	3,45	560,0	8609	2936,3				
90	54,76	4,44	67,46	2,63	3,54	457,5	8126	2093,6				
90	51,88	4,12	67,66	3,10	3,67	390,0	8509	2126,5	9279	2123,7	5016	1082,1
90	53,66	4,37	66,98	3,28	3,78	342,5	8337	2095,4				
92	51,22	3,26	65,35	2,93	4,99	35,0	6733	2448,4				
92	54,16	3,03	68,50	4,05	4,65	50,0	6917	3187,9	4025	2687,7	4568	1608,0
93	56,62	3,26	64,73	3,72	4,89	42,5	6520	2661,1				
93	56,18	3,16	68,92	3,95	4,51	67,5	7807	3121,6	4403	2816,1	5238	2363,8
94	55,12	3,52	62,12	3,71	4,60	55,0	6917	2655,4				
94	58,28	3,55	62,42	3,65	4,60	55,0	6907	2867,4	4345	2326,2	6251	2855,0
95	53,24	4,57	64,33	4,20	4,60	57,0	7336	3134,9	4639	2358,5	5685	3212,3
<i>Estadísticos Descriptivos</i>												
Cuenta	71	71	71	71	71	71	71	71	7	7	26	26
Media	61,77	3,50	65,62	2,96	5,10	94,2	6508	2177,1	6748	2597,1	6052	1863,0
Mediana	63,46	3,38	66,49	2,89	5,32	25,0	6175	1949,1	4639	2687,7	5277	1791,7
Desviación estándar	11,55	0,82	6,43	0,91	0,85	166,5	2199	1173,4	3139	337,9	2154	686,5
Mínimo	39,12	1,16	48,04	0,71	3,34	10,0	2513	696,7	4025	2123,7	3399	684,5
Máximo	78,96	5,47	82,48	5,48	6,40	757,5	17458	7281,9	11810	3088,6	11744	3212,3
Nivel de confianza (95,0%)	2,69	0,19	1,50	0,21	0,20	38,7	512	272,9	2325	250,3	828	263,9

Anexo B. Base de datos estudio

RESÚMEN POR DÍA DE ALMACENAMIENTO

TIEMPO ALMACENAMIENTO	CARACTERÍSTICAS BAGAZO						CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE					
Tiempo (días)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Fibra (%)	Solubles (%)	pH	Acidez (mg/L CaCO3)	DQO PILOTO (mg/L)	DBO5 PILOTO (mg/L)	DQO INDUSTRIAL (mg/L)	DBO5 INDUSTRIAL (mg/L)	DQO AGUA CLARIFICADA (mg/L)	DBO5 AGUA CLARIFICADA (mg/L)
7	41,18	4,00	64,98	2,42	4,87	28,8	5991	2253,7	-	-	4019,0	1842,9
13	48,50	3,74	69,32	3,52	5,12	30,0	7880	2739,7	-	-	5349,0	1975,3
20	48,79	3,76	64,68	3,21	4,65	60,0	6837	2354,7	-	-	6964,0	1983,8
21	42,24	4,19	65,22	2,69	5,43	32,5	5536	2805,2	-	-	4258,0	684,5
27	68,82	3,73	70,76	2,30	5,31	22,5	4929	1670,4	-	-	9826,0	2029,2
28	51,73	4,23	60,74	2,96	5,54	19,0	6391	2211,4	-	-	8854,0	2431,7
34	72,73	2,22	67,84	2,89	5,03	33,3	6061	1789,4	-	-	11744,0	1634,9
35	66,26	3,09	53,10	2,18	6,24	14,2	5213	1779,8	-	-	3555,0	1342,6
41	68,11	3,66	66,65	2,66	5,43	20,8	5748	1863,0	-	-	4960,0	1627,9
42	72,04	3,07	65,63	1,68	5,49	23,3	5883	1894,1	-	-	4755,0	1663,9
49	68,77	2,61	65,81	2,37	5,95	15,0	5474	1311,2	-	-	3399,0	1740,5
50	69,78	2,80	65,82	2,58	5,07	31,7	5455	1641,2	-	-	9519,0	1579,6
55	75,51	3,89	69,30	2,52	5,75	15,8	4793	1566,4	-	-	4644,0	2867,3
56	74,94	2,96	76,11	2,09	5,71	15,0	6975	1802,5	-	-	6872,0	1996,0
63	70,69	3,93	65,27	3,16	5,56	21,7	5621	1000,5	-	-	4168,0	952,0
64	69,94	3,67	71,05	3,57	5,34	31,7	4764	898,9	-	-	4730,0	824,5
77	70,60	4,24	66,85	2,05	5,83	11,7	4880	1359,0	-	-	7835,0	1872,4
78	64,01	3,10	69,51	3,33	5,96	15,0	4821	992,2	-	-	5316,0	1122,8
83	58,04	3,42	49,92	4,36	3,82	480,0	13129	5515,8	-	-	8713,0	3156,1
84	51,83	3,74	66,14	3,47	3,63	365,0	9105	4209,7	11810	2778,9	6369,0	2534,8
89	55,57	2,84	63,57	4,20	3,64	445,8	8461	2732,8	8735	3088,6	4738,0	1455,1
90	53,43	4,31	67,37	3,00	3,66	396,7	8324	2105,2	9279	2123,7	5016,0	1082,1
92	52,69	3,14	66,93	3,49	4,82	42,5	6825	2818,2	4025	2687,7	4568,0	1608,0
93	56,40	3,21	66,82	3,84	4,70	55,0	7164	2891,4	4403	2816,1	5238,0	2363,8
94	56,70	3,54	62,27	3,68	4,60	55,0	6912	2761,4	4345	2326,2	6251,0	2855,0
95	53,24	4,57	64,33	4,20	4,60	57,0	7336	3134,9	4639	2358,5	5685,0	3212,3
<i>Estadísticos Descriptivos</i>												
Cuenta	26	26	26	26	26	26	26	26	7	7	26	26
Media	60,87	3,53	65,62	3,02	5,07	90,0	6558	2234,7	6748	2597,1	6051,7	1863,0
Mediana	61,03	3,67	65,98	2,98	5,22	30,8	6026	1999,6	4639	2687,7	5277,0	1791,7
Desviación estándar	10,39	0,59	5,17	0,73	0,75	146,1	1814	1016,3	3139	337,9	2154,4	686,5
Mínimo	41,18	2,22	49,92	1,68	3,63	11,7	4764	898,9	4025	2123,7	3399,0	684,5
Máximo	75,51	4,57	76,11	4,36	6,24	480,0	13129	5515,8	11810	3088,6	11744,0	3212,3
Nivel de confianza (95,0%)	4,00	0,23	1,99	0,28	0,29	56,2	697	390,6	2325	250,3	828,1	263,9

Anexo C. Prueba T pareada escala piloto e industrial SPSS

T-TEST PAIRS=dqo.piloto dbo5.piloto WITH dqo.industrial dbo5.industrial (PAIRED)
 /CRITERIA=CI (.9500)
 /MISSING=ANALYSIS.

Prueba T

Estadísticos de muestras relacionadas

		Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1	dqo.piloto	7732,43	7	888,962	335,996
	dqo.industrial	6748,00	7	3138,843	1186,371
Par 2	dbo5.piloto	2950,514	7	637,4779	240,9440
	dbo5.industrial	2597,100	7	337,9391	127,7290

Correlaciones de muestras relacionadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	dqo.piloto y dqo.industrial	7	,986	,000
Par 2	dbo5.piloto y dbo5.industrial	7	,390	,387

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas			
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia
					Inferior
Par 1	dqo.piloto - dqo.industrial	984,429	2267,408	857,000	-1112,575
Par 2	dbo5.piloto - dbo5.industrial	353,4143	593,6763	224,3885	-195,6447

Prueba de muestras relacionadas

		Diferencias relacionadas	t	gl	Sig. (bilateral)
		95% Intervalo de confianza para la diferencia			
		Superior			
Par 1	dqo.piloto - dqo.industrial	3081,432	1,149	6	,294
Par 2	dbo5.piloto - dbo5.industrial	902,4733	1,575	6	,166

Anexo D. Correlaciones bivariadas SPSS

CORRELATIONS

```

/VARIABLES=tiempo.almacenamiento humedad.bagazo cenizas.bagazo fibra.bagazo
solubles.bagazo ph.bagazo acidez.bagazo dco.piloto dbo5.piloto
/PRINT=TWOTAIL NOSIG
/STATISTICS DESCRIPTIVES
/MISSING=PAIRWISE.
    
```

Correlaciones

Estadísticos descriptivos

	Media	Desviación típica	N
tiempo.almacenamiento	49,37	24,739	59
humedad.bagazo	63,2042	11,79220	59
cenizas.bagazo	3,4795	,82213	59
fibra.bagazo	66,4064	5,93297	59
solubles.bagazo	2,7942	,84848	59
ph.bagazo	5,3847	,58893	59
acidez.bagazo	27,610	16,6407	59
dco.piloto	5847,90	1107,373	59
dbo5.piloto	1879,375	725,7545	59

Correlaciones

		tiempo.almacenamiento	humedad.bagazo	cenizas.bagazo
tiempo.almacenamiento	Correlación de Pearson	1	,276	-,067
	Sig. (bilateral)		,034	,615
	N	59	59	59
humedad.bagazo	Correlación de Pearson	,276	1	-,314
	Sig. (bilateral)	,034		,016
	N	59	59	59
cenizas.bagazo	Correlación de Pearson	-,067	-,314	1
	Sig. (bilateral)	,615	,016	
	N	59	59	59
fibra.bagazo	Correlación de Pearson	,126	,232	-,048
	Sig. (bilateral)	,343	,077	,720
	N	59	59	59
solubles.bagazo	Correlación de Pearson	,273	-,173	,191
	Sig. (bilateral)	,037	,190	,147
	N	59	59	59
ph.bagazo	Correlación de Pearson	-,019	,441**	,054
	Sig. (bilateral)	,887	,000	,682
	N	59	59	59
acidez.bagazo	Correlación de Pearson	,104	-,499**	-,071
	Sig. (bilateral)	,433	,000	,594
	N	59	59	59
dco.piloto	Correlación de Pearson	-,022	-,432**	,021
	Sig. (bilateral)	,870	,001	,872
	N	59	59	59
dbo5.piloto	Correlación de Pearson	-,110	-,588**	,012
	Sig. (bilateral)	,408	,000	,926
	N	59	59	59

Correlaciones

		fibra.bagazo	solubles.bagazo	ph.bagazo
tiempo.almacenamiento	Correlación de Pearson	,126	,273	-,019

Anexo D. Correlaciones bivariadas SPSS

	Sig. (bilateral)	,343	,037	,887
	N	59	59	59
humedad.bagazo	Correlación de Pearson	,232	-,173	,441
	Sig. (bilateral)	,077	,190	,000
	N	59	59	59
cenizas.bagazo	Correlación de Pearson	-,048	,191	,054
	Sig. (bilateral)	,720	,147	,682
	N	59	59	59
fibra.bagazo	Correlación de Pearson	1	,046	,016
	Sig. (bilateral)		,731	,905
	N	59	59	59
solubles.bagazo	Correlación de Pearson	,046	1	-,260
	Sig. (bilateral)	,731		,047
	N	59	59	59
ph.bagazo	Correlación de Pearson	,016	-,260**	1
	Sig. (bilateral)	,905	,047	
	N	59	59	59
acidez.bagazo	Correlación de Pearson	-,104	,356**	-,862
	Sig. (bilateral)	,435	,006	,000
	N	59	59	59
dqo.piloto	Correlación de Pearson	,031	,068**	-,446
	Sig. (bilateral)	,816	,610	,000
	N	59	59	59
dbo5.piloto	Correlación de Pearson	-,180	,142**	-,544
	Sig. (bilateral)	,174	,283	,000
	N	59	59	59

Correlaciones

		acidez.bagazo	dqo.piloto	dbo5.piloto
tiempo.almacenamiento	Correlación de Pearson	,104	-,022	-,110
	Sig. (bilateral)	,433	,870	,408
	N	59	59	59
humedad.bagazo	Correlación de Pearson	-,499	-,432	-,588
	Sig. (bilateral)	,000	,001	,000
	N	59	59	59
cenizas.bagazo	Correlación de Pearson	-,071	,021	,012
	Sig. (bilateral)	,594	,872	,926
	N	59	59	59
fibra.bagazo	Correlación de Pearson	-,104	,031	-,180
	Sig. (bilateral)	,435	,816	,174
	N	59	59	59
solubles.bagazo	Correlación de Pearson	,356	,068	,142
	Sig. (bilateral)	,006	,610	,283
	N	59	59	59
ph.bagazo	Correlación de Pearson	-,862	-,446**	-,544
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000
	N	59	59	59
acidez.bagazo	Correlación de Pearson	1	,455**	,589
	Sig. (bilateral)		,000	,000
	N	59	59	59
dqo.piloto	Correlación de Pearson	,455	1**	,564
	Sig. (bilateral)	,000		,000
	N	59	59	59
dbo5.piloto	Correlación de Pearson	,589	,564**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	
	N	59	59	59

Anexo D. Correlaciones bivariadas SPSS

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

NONPAR CORR

```

/VARIABLES=tiempo.almacenamiento humedad.bagazo cenizas.bagazo fibra.bagazo
solubles.bagazo ph.bagazo acidez.bagazo dco.piloto dbo5.piloto
/PRINT=BOTH TWOTAIL NOSIG
/MISSING=PAIRWISE.
    
```

Correlaciones no paramétricas

		Correlaciones									
		tiempo .almac enami ento	humed ad.bag azo	ceniza s.baga zo	fibra.b agazo	soluble s.baga zo	ph.b agaz o	acidez. bagazo	dco. pilot o	dbo5. pilot o	
Tau_b de Kendall	tiempo.alma cenamiento	Coeficiente de correlación	1,000	,227*	-,038	,072	,150	,097	-,153	-,017	-,241**
		Sig. (bilateral)	.	,012	,680	,428	,099	,286	,103	,855	,008
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	humedad.ba gazo	Coeficiente de correlación	,227*	1,000	-,181*	,180*	-,100	,291*	-,396**	-,307**	-,401**
		Sig. (bilateral)	,012	.	,044	,045	,266	,001	,000	,001	,000
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	cenizas.bag azo	Coeficiente de correlación	-,038	-,181*	1,000	,008	,148	,034	,002	,016	,033
		Sig. (bilateral)	,680	,044	.	,927	,098	,709	,979	,860	,709
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	fibra.bagazo	Coeficiente de correlación	,072	,180*	,008	1,000	-,013	,099	-,131	-,009	-,148
		Sig. (bilateral)	,428	,045	,927	.	,886	,272	,157	,917	,097
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	solubles.bag azo	Coeficiente de correlación	,150	-,100	,148	-,013	1,000	-,196*	,255**	,146	,154
		Sig. (bilateral)	,099	,266	,098	,886	.	,029	,006	,103	,085
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	ph.bagazo	Coeficiente de correlación	,097	,291**	,034	,099	-,196*	1,000	-,750**	-,319**	-,439**
		Sig. (bilateral)	,286	,001	,709	,272	,029	.	,000	,000	,000
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
	acidez.baga zo	Coeficiente de correlación	-,153	-,396**	,002	-,131	,255**	-,750**	1,000	,368*	,499**

Anexo D. Correlaciones bivariadas SPSS

Rho de Spearman		Sig. (bilateral)	,103	,000	,979	,157	,006	,000	.	,000	,000	
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
		Coefficiente de correlación	-,017	-,307**	,016	-,009	,146	-,319**	,368**	1,000	,461**	
	dqo.piloto	Sig. (bilateral)	,855	,001	,860	,917	,103	,000	,000	.	,000	
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
		Coefficiente de correlación	-,241**	-,401**	,033	-,148	,154	-,439**	,499**	,461*	1,000	
	dbo5.piloto	Sig. (bilateral)	,008	,000	,709	,097	,085	,000	,000	,000	.	
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
		Coefficiente de correlación	1,000	,335**	-,090	,105	,222	,096	-,152	-,005	-,240	
	tiempo.alma cenamiento	Sig. (bilateral)	.	,009	,497	,430	,091	,468	,250	,970	,068	
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
		Coefficiente de correlación	,335**	1,000	-,250	,260*	-,154	,452*	-,581**	-,429**	-,593**	
	humedad.bagazo	Sig. (bilateral)	,009	.	,056	,047	,245	,000	,000	,001	,000	
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
		Coefficiente de correlación	-,090	-,250	1,000	,000	,225	,020	,015	,032	,073	
	cenizas.bagazo	Sig. (bilateral)	,497	,056	.	,999	,087	,881	,912	,812	,585	
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
		Coefficiente de correlación	,105	,260*	,000	1,000	-,010	,137	-,179	-,016	-,225	
	fibra.bagazo	Sig. (bilateral)	,430	,047	,999	.	,942	,301	,176	,906	,087	
		N	59	59	59	59	59	59	59	59	59	
	Coefficiente de correlación	,222	-,154	,225	-,010	1,000	-,283*	,353**	,206	,216		
solubles.bagazo	Sig. (bilateral)	,091	,245	,087	,942	.	,030	,006	,117	,100		
	N	59	59	59	59	59	59	59	59	59		
	Coefficiente de correlación	,096	,452**	,020	,137	-,283*	1,000	-,903**	-,467**	-,606**		
ph.bagazo	Sig. (bilateral)	,468	,000	,881	,301	,030	.	,000	,000	,000		
	N	59	59	59	59	59	59	59	59	59		
	Coefficiente de correlación	-,152	-,581**	,015	-,179	,353**	-,903**	1,000	,493*	,649**		
acidez.bagazo	Sig. (bilateral)	,250	,000	,912	,176	,006	,000	.	,000	,000		

Anexo D. Correlaciones bivariadas SPSS

	N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
dqo.piloto	Coeficiente de correlación	-,005	-,429**	,032	-,016	,206	-,467**	,493**	1,000	,644**
	Sig. (bilateral)	,970	,001	,812	,906	,117	,000	,000	.	,000
	N	59	59	59	59	59	59	59	59	59
dbo5.piloto	Coeficiente de correlación	-,240	-,593**	,073	-,225	,216	-,606**	,649**	,644*	1,000
	Sig. (bilateral)	,068	,000	,585	,087	,100	,000	,000	,000	.
	N	59	59	59	59	59	59	59	59	59

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

**.. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

```

DATASET NAME Conjunto_de_datos1 WINDOW=FRONT.
* Estimación curvilínea.
TSET MXNEWVAR=6.
CURVEFIT
/VARIABLES=dqo.piloto dbo5.piloto WITH humedad.bagazo
/CONSTANT
/MODEL=LINEAR QUADRATIC COMPOUND
/PRINT ANOVA
/PLOT FIT
/SAVE=PRED .
    
```

Estimación curvilínea

Resumen del procesamiento de los casos

	N
Total de casos	59
Casos excluidos ^a	0
Casos pronosticados	0
Casos creados nuevos	0

a. Los casos con un valor perdido en cualquier variable se excluyen del análisis.

Resumen del procesamiento de las variables

	Variables		
	Dependiente		Independiente
	dqo.piloto	dbo5.piloto	humedad.bagazo
Número de valores positivos	59	59	59
Número de ceros	0	0	0
Número de valores negativos	0	0	0
Número de valores perdidos	Perdidos definidos por el usuario	0	0
	Perdidos del sistema	0	0

DQO.PILOTO

Lineal

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,432	,187	,173	1007,219

La variable independiente es humedad.bagazo.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	13297953,631	1	13297953,631	13,108	,001
Residual	57825969,759	57	1014490,698		

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

Total	71123923,390	58			
-------	--------------	----	--	--	--

La variable independiente es humedad.bagazo.

Coeficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
humedad.bagazo (Constante)	-40,605 8414,331	11,215 720,888	-,432	-3,620 11,672	,001 ,000

Cuadrático

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,483	,234	,206	986,517

La variable independiente es humedad.bagazo.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	16623823,575	2	8311911,787	8,541	,001
Residual	54500099,815	56	973216,068		
Total	71123923,390	58			

La variable independiente es humedad.bagazo.

Coeficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
humedad.bagazo	210,080	136,051	2,237	1,544	,128
humedad.bagazo ** 2	-2,059	1,114	-2,678	-1,849	,070
(Constante)	1076,530	4031,646		,267	,790

Compuesto

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,425	,181	,167	,191

La variable independiente es humedad.bagazo.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,460	1	,460	12,592	,001
Residual	2,081	57	,037		

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

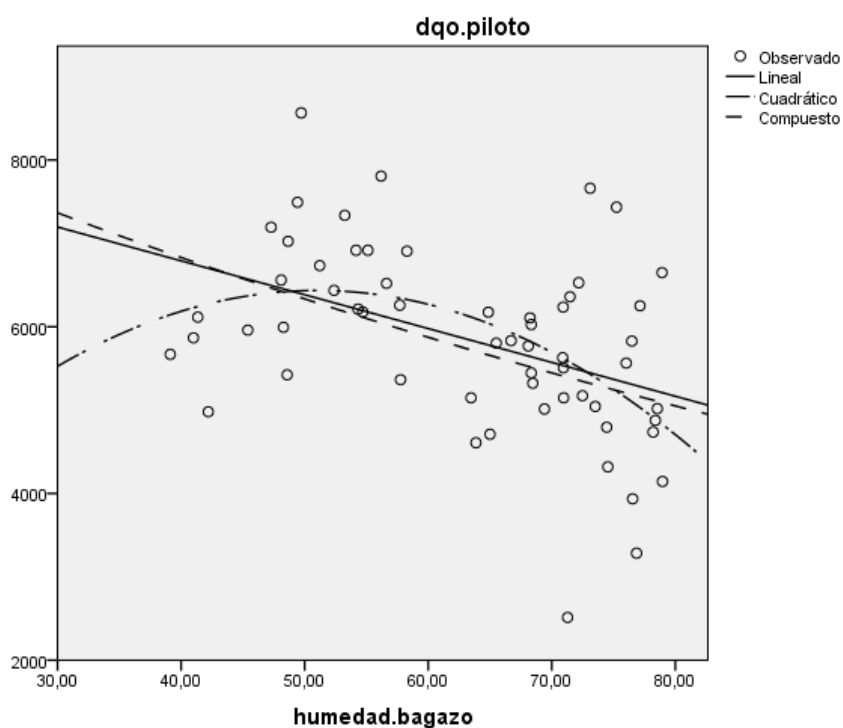
Total	2,541	58			
-------	-------	----	--	--	--

La variable independiente es humedad.bagazo.

Coeficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
humedad.bagazo	,992	,002	,654	470,004	,000
(Constante)	9238,558	1263,441		7,312	,000

La variable dependiente es ln(dqo.piloto).



```

DATASET NAME Conjunto_de_datos1 WINDOW=FRONT.
REGRESSION
  /MISSING LISTWISE
  /STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL ZPP
  /CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
  /NOORIGIN
  /DEPENDENT dqo.piloto
  /METHOD=ENTER humedad.bagazo
  /RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID).
    
```

Regresión lineal DQO

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

1	humedad.bagazo	.	Introducir
---	----------------	---	------------

- a. Variable dependiente: dqo.piloto
b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,432 ^a	,187	,173	1007,219	1,571

- a. Variables predictoras: (Constante), humedad.bagazo
b. Variable dependiente: dqo.piloto

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	13297953,631	1	13297953,631	13,108	,001 ^p
	Residual	57825969,759	57	1014490,698		
	Total	71123923,390	58			

- a. Variable dependiente: dqo.piloto
b. Variables predictoras: (Constante), humedad.bagazo

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	8414,331	720,888		11,672	,000
	humedad.bagazo	-40,605	11,215	-,432	-3,620	,001

Coefficientes^a

Modelo		Correlaciones			Estadísticos de colinealidad	
		Orden cero	Parcial	Semiparcial	Tolerancia	FIV
1	(Constante)					
	humedad.bagazo	-,432	-,432	-,432	1,000	1,000

- a. Variable dependiente: dqo.piloto

Diagnósticos de colinealidad^a

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de condición	Proporciones de la varianza	
				(Constante)	humedad.bagazo
1	1	1,983	1,000	,01	,01
	2	,017	10,903	,99	,99

- a. Variable dependiente: dqo.piloto

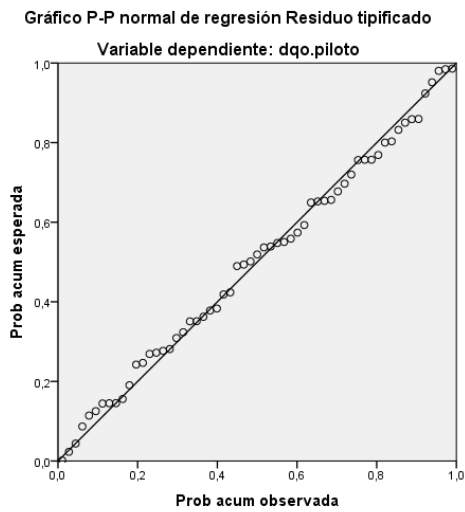
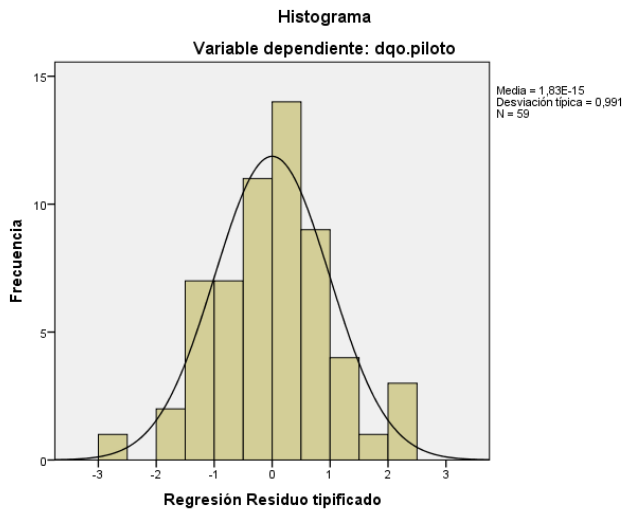
Estadísticos sobre los residuos^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	5208,13	6825,85	5847,90	478,827	59
Residual	-3006,979	2214,923	,000	998,499	59
Valor pronosticado tip.	-1,336	2,042	,000	1,000	59
Residuo típ.	-2,985	2,199	,000	,991	59

- a. Variable dependiente: dqo.piloto

Gráficos

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS



Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

DBO5.PILOTO

Lineal

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,588	,346	,334	592,250

La variable independiente es humedadad.bagazo.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	10556427,137	1	10556427,137	30,096	,000
Residual	19993309,354	57	350759,813		
Total	30549736,492	58			

La variable independiente es humedadad.bagazo.

Coefficientes

	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
humedad.bagazo (Constante)	-36,178 4166,005	6,595 423,886	-,588	-5,486 9,828	,000 ,000

Cuadrático

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,597	,357	,334	592,275

La variable independiente es humedadad.bagazo.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	10905494,368	2	5452747,184	15,544	,000
Residual	19644242,124	56	350790,038		
Total	30549736,492	58			

La variable independiente es humedadad.bagazo.

Coefficientes

	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
humedad.bagazo	45,036	81,681	,732	,551	,584
humedad.bagazo ** 2	-,667	,669	-1,324	-,998	,323

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

(Constante)	1788,793	2420,479	,739	,463
-------------	----------	----------	------	------

Compuesto

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,587	,344	,333	,312

La variable independiente es humedad.bagazo.

ANOVA

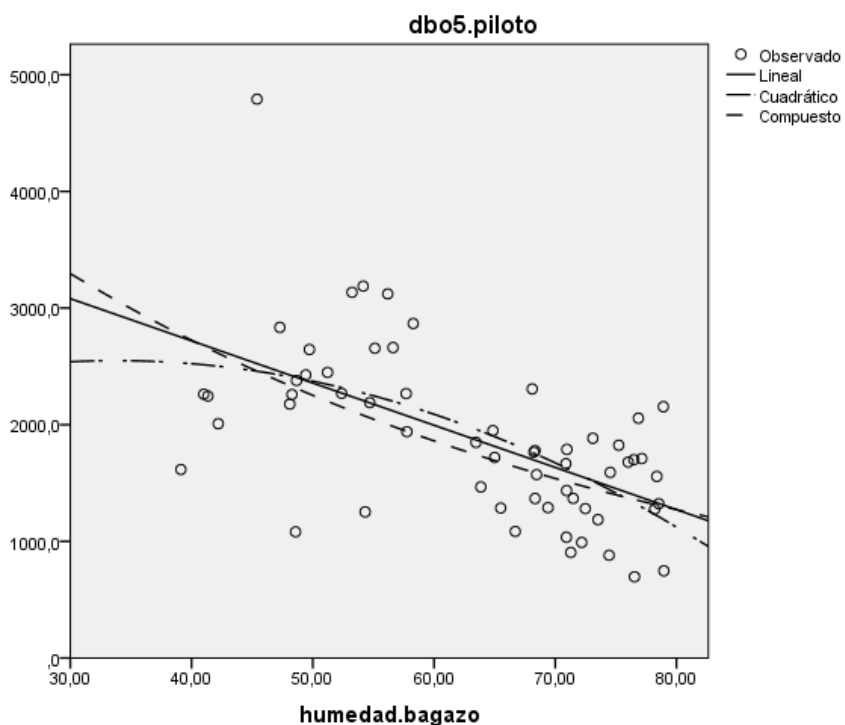
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,923	1	2,923	29,944	,000
Residual	5,563	57	,098		
Total	8,486	58			

La variable independiente es humedad.bagazo.

Coefficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
humedad.bagazo	,981	,003	,556	287,458	,000
(Constante)	5833,532	1304,398		4,472	,000

La variable dependiente es ln(dbo5.piloto).



Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

```
REGRESSION
/MISSING LISTWISE
/STATISTICS COEFF OUTS R ANOVA COLLIN TOL ZPP
/CRITERIA=PIN(.05) POUT(.10)
/NOORIGIN
/DEPENDENT dbo5.piloto
/METHOD=ENTER humedad.bagazo
/RESIDUALS DURBIN HISTOGRAM(ZRESID) NORMPROB(ZRESID) .
```

Regresión lineal DBO5

Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	humedad.bagazo ^b	.	Introducir

- a. Variable dependiente: dbo5.piloto
b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,588 ^a	,346	,334	592,2498	1,669

- a. Variables predictoras: (Constante), humedad.bagazo
b. Variable dependiente: dbo5.piloto

ANOVA^a

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	10556427,137	1	10556427,137	30,096	,000 ^b
	Residual	19993309,354	57	350759,813		
	Total	30549736,492	58			

- a. Variable dependiente: dbo5.piloto
b. Variables predictoras: (Constante), humedad.bagazo

Coefficientes^a

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	4166,005	423,886		9,828	,000
	humedad.bagazo	-36,178	6,595	-,588	-5,486	,000

Coefficientes^a

Modelo		Correlaciones			Estadísticos de colinealidad	
		Orden cero	Parcial	Semiparcial	Tolerancia	FIV
1	(Constante)					
	humedad.bagazo	-,588	-,588	-,588	1,000	1,000

- a. Variable dependiente: dbo5.piloto

Diagnósticos de colinealidad^a

Modelo	Dimensión	Autovalores	Índice de	Proporciones de la varianza
--------	-----------	-------------	-----------	-----------------------------

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

		condición	(Constante)	humedad.bagazo
1	1	1,983	1,000	,01
	2	,017	10,903	,99

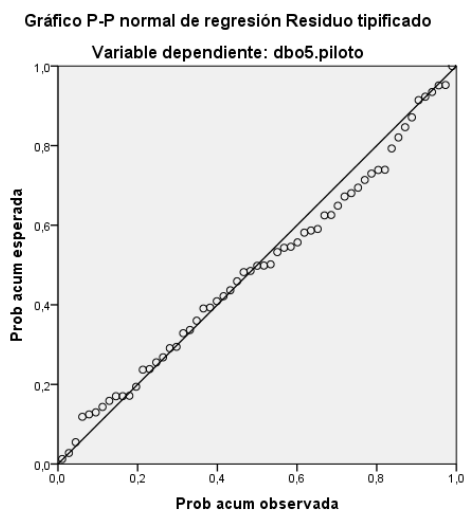
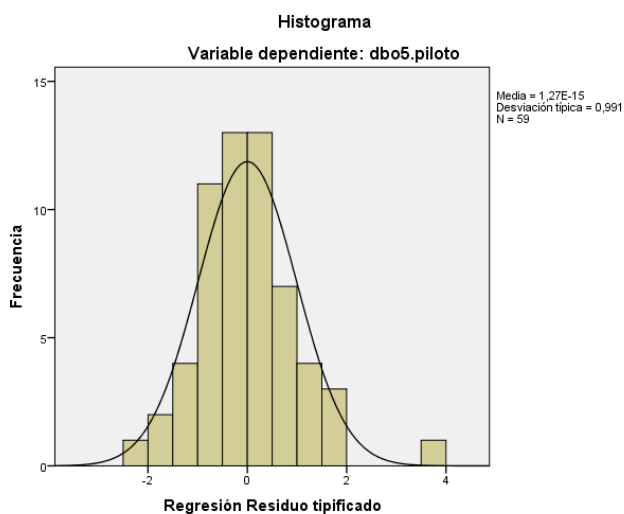
a. Variable dependiente: dbo5.piloto

Estadísticos sobre los residuos^a

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	1309,356	2750,705	1879,375	426,6232	59
Residual	-1327,3566	2267,4961	,0000	587,1220	59
Valor pronosticado tip.	-1,336	2,042	,000	1,000	59
Residuo típ.	-2,241	3,829	,000	,991	59

a. Variable dependiente: dbo5.piloto

Gráficos



Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

```
* Estimación curvilínea.
TSET MXNEWVAR=3.
CURVEFIT
/VARIABLES=humedad.bagazo WITH tiempo.almacenamiento
/CONSTANT
/MODEL=LINEAR QUADRATIC COMPOUND
/PRINT ANOVA
/PLOT FIT
/SAVE=PRED .
```

Estimación curvilínea

Resumen del procesamiento de los casos

	N
Total de casos	59
Casos excluidos ^a	0
Casos pronosticados	0
Casos creados nuevos	0

a. Los casos con un valor perdido en cualquier variable se excluyen del análisis.

Resumen del procesamiento de las variables

	Variables	
	Dependiente	Independiente
	humedad.bagazo	tiempo.almacenamiento
Número de valores positivos	59	59
Número de ceros	0	0
Número de valores negativos	0	0
Número de valores perdidos	0	0
	Perdidos definidos por el usuario	
	Perdidos del sistema	
	0	0

HUMEDAD.BAGAZO

Lineal

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,276	,076	,060	11,434

La variable independiente est tiempo.almacenamiento.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	613,510	1	613,510	4,693	,034
Residual	7451,732	57	130,732		
Total	8065,243	58			

Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

La variable independiente est tiempo.almacenamiento.

Coefficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
tiempo.almacenamiento	,131	,061	,276	2,166	,034
(Constante)	56,713	3,346		16,951	,000

Cuadrático

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,794	,631	,618	7,292

La variable independiente est tiempo.almacenamiento.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5087,793	2	2543,896	47,846	,000
Residual	2977,450	56	53,169		
Total	8065,243	58			

La variable independiente est tiempo.almacenamiento.

Coefficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
tiempo.almacenamiento	1,627	,168	3,414	9,710	,000
tiempo.almacenamiento ** 2	-,014	,002	-3,225	-9,173	,000
(Constante)	25,639	4,003		6,404	,000

Compuesto

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típico de la estimación
,308	,095	,079	,191

La variable independiente est tiempo.almacenamiento.

ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	,218	1	,218	5,976	,018
Residual	2,078	57	,036		
Total	2,296	58			

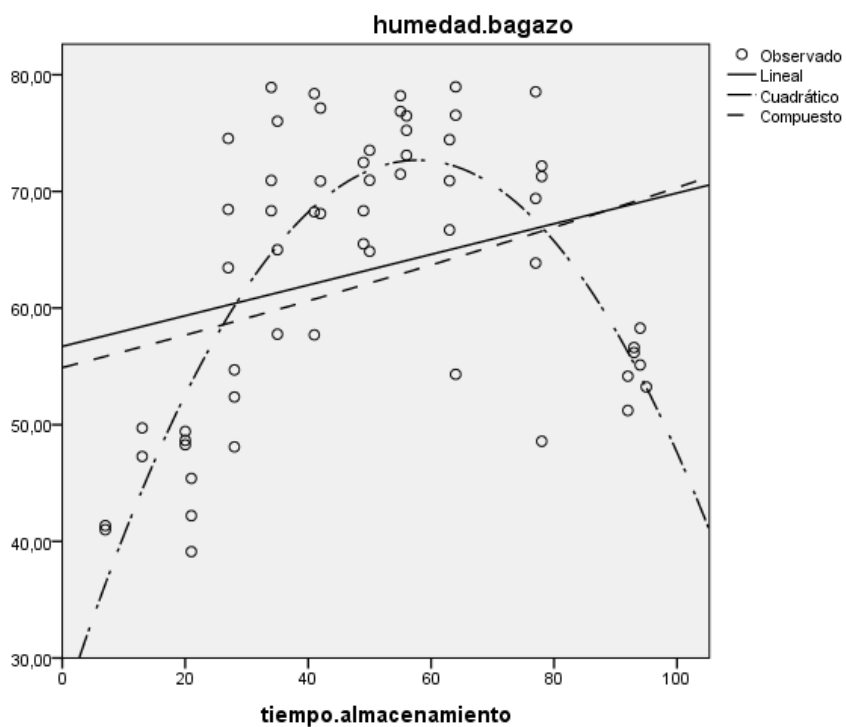
Anexo E. Regresiones para estimar DQO y DBO en función del tiempo SPSS

La variable independiente est tiempo.almacenamiento.

Coefficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error típico	Beta		
tiempo.almacenamiento	1,002	,001	1,361	986,732	,000
(Constante)	54,896	3,067		17,898	,000

La variable dependiente es ln(humedad.bagazo).



Anexo F. Base de datos calculados por ecuaciones predictivas

Tiempo	DQO piloto	DBO5 piloto	Humedad	DQO calculada	DBO5 calculada	Tiempo	DQO piloto	DBO5 piloto	Humedad	DQO calculada	DBO5 calculada
0			25,64	7373	3238,4	48			71,32	5518	1585,8
1			27,25	7308	3180,0	49	5474	1311,2	71,58	5508	1576,3
2			28,84	7243	3122,7	50	5455	1641,2	71,82	5498	1567,8
3			30,39	7180	3066,4	51			72,02	5490	1560,4
4			31,92	7118	3011,1	52			72,20	5483	1554,0
5			33,42	7057	2956,8	53			72,35	5477	1548,6
6			34,90	6997	2903,5	54			72,47	5472	1544,2
7	5991	2253,7	36,34	6939	2851,3	55	4793	1566,4	72,56	5468	1540,8
8			37,76	6881	2800,0	56	6975	1802,5	72,63	5465	1538,5
9			39,14	6825	2749,8	57			72,66	5464	1537,1
10			40,50	6770	2700,6	58			72,67	5463	1536,8
11			41,84	6716	2652,4	59			72,65	5464	1537,5
12			43,14	6663	2605,3	60			72,61	5466	1539,2
13	7880	2739,7	44,42	6611	2559,1	61			72,53	5469	1542,0
14			45,66	6560	2514,0	62			72,43	5473	1545,7
15			46,88	6511	2469,9	63	5621	1000,5	72,29	5479	1550,5
16			48,07	6462	2426,8	64	4764	898,9	72,13	5485	1556,3
17			49,24	6415	2384,7	65			71,95	5493	1563,1
18			50,37	6369	2343,7	66			71,73	5502	1571,0
19			51,48	6324	2303,7	67			71,48	5512	1579,8
20	6837	2354,7	52,56	6280	2264,6	68			71,21	5523	1589,7
21	5536	2805,2	53,61	6238	2226,6	69			70,91	5535	1600,6
22			54,63	6196	2189,7	70			70,58	5548	1612,5
23			55,62	6156	2153,7	71			70,22	5563	1625,4
24			56,59	6117	2118,8	72			69,84	5579	1639,4
25			57,52	6079	2084,9	73			69,42	5595	1654,3
26			58,43	6042	2051,9	74			68,98	5613	1670,3
27	4929	1670,4	59,32	6006	2020,1	75			68,51	5632	1687,3
28	6391	2211,4	60,17	5971	1989,2	76			68,01	5653	1705,4
29			60,99	5938	1959,4	77	4880	1359,0	67,49	5674	1724,4
30			61,79	5905	1930,5	78	4821	992,2	66,93	5696	1744,5
31			62,56	5874	1902,7	79			66,35	5720	1765,5
32			63,30	5844	1875,9	80			65,74	5745	1787,6
33			64,01	5815	1850,1	81			65,10	5771	1810,7
34	6061	1789,4	64,70	5787	1825,4	82			64,43	5798	1834,9
35	5213	1779,8	65,35	5761	1801,7	83			63,74	5826	1860,0
36			65,98	5735	1778,9	84			63,02	5856	1886,2
37			66,58	5711	1757,2	85			62,26	5886	1913,4
38			67,15	5688	1736,6	86			61,49	5918	1941,6
39			67,70	5666	1716,9	87			60,68	5951	1970,8
40			68,21	5645	1698,3	88			59,84	5984	2001,0
41	5748	1863,0	68,70	5625	1680,6	89			58,98	6020	2032,3
42	5883	1894,1	69,16	5606	1664,0	90			58,09	6056	2064,6
43			69,59	5589	1648,4	91			57,16	6093	2097,9
44			69,99	5572	1633,9	92	6825	2818,2	56,22	6132	2132,2
45			70,37	5557	1620,3	93	7164	2891,4	55,24	6171	2167,5
46			70,71	5543	1607,8	94	6912	2761,4	54,23	6212	2203,9
47			71,03	5530	1596,3	95	7336	3134,9	53,20	6254	2241,2

Carvajal



PULPA Y PAPEL

EL SUSCRITO ESPECIALISTA DE GESTION HUMANA DE CARVAJAL PULPA Y PAPEL

CERTIFICA:

Que el (la) señor(a) **JUAN CARLOS AGUILAR**, identificado(a) con cédula de ciudadanía 10.303.943, realizó su pasantía desde el **22 de agosto de 2011 al 22 de febrero de 2012** en el área de Tecnología, en convenio con la Universidad del Cauca.

Esta práctica no constituye vínculo laboral ni apoyo de sostenimiento.

Para constancia se firma en Yumbo, a los diecisiete (17) días del mes de diciembre de dos mil doce (2012).

CARLOS OMAR RIVERA MENDEZ

Carvajal Pulpa y Papel S.A.

NIT. 890.301.960 - 7

Km. 6 Antigua Carretera Cali Yumbo

Tel: (572) 651 2000

Yumbo, Valle del Cauca, Colombia

www.carvajalpulpaypapel.com