

Análisis muestral aplicado al Cálculo de la Humedad Caso Papelera Nacional



Resumen

El presente trabajo de investigación se fundamenta en la aplicación de técnicas muestrales para optimizar procesos industriales. La industria papelera compra grandes cantidades de papel reciclado, que debe pasar por un control de calidad basado en la determinación de dos variables: el peso y el grado de humedad de la materia prima. Este último, es un factor decisivo a la hora de pagar a cada proveedor; por ello, se busca establecer un procedimiento para determinar un estimador óptimo del grado de humedad del papel reciclado que llega en un medio de transporte a los patios de consumo de una industria papelera; de tal manera que se pueda asignar un valor a pagar que no perjudique ni a la empresa, ni al proveedor. En la investigación, se partió de un conjunto de datos históricos y las normas de calidad, y se desarrolló un proceso que usa las herramientas del análisis muestral para obtener un valor estimado de la humedad asociada a todo el papel contenido en ese medio de transporte. Cabe resaltar que los resultados de este procedimiento, arrojan porcentajes del 98.32% de aceptación con respecto al valor real, frente a un 63.48% del método que se aplicaba tradicionalmente.

Palabras clave: Muestreo, industria papelera, papel reciclado, estimador, variable cuantitativa, humedad.

Abstract

This research work is based on the application of sampling techniques to optimize industrial processes. The paper industry purchases large quantities of recycled paper, which must undergo a quality control based on the determination of two variables: the weight and moisture content of the raw material. The latter is a decisive factor in paying to each supplier, for this work is to establish a procedure to determine an optimal estimator of the moisture content of recycled paper that comes in a transport medium to the yards of consumption of a paper industry, so that you can assign a value to pay that does not harm either the company or the supplier. In research, it was on a set of historical data and quality standards, and developing a process based on the sample analysis to obtain an estimate of the moisture associated with all the paper contained in that conveyance. Significantly, the results of this procedure, yield percentages of 98.32% acceptance with respect to the actual value, compared with 63.48% of the traditionally applied method.

Key words: Sampling, pulp, recycled paper, estimator, quantitative variable, moisture.

Recibido: Diciembre, 2009
Aceptado: Marzo, 2010



POR: Edwin
León Plúas, Ing.¹

E-mail
eleonp@unemi.edu.ec



POR: Miguel
Reinoso, Dr.²

E-mail
mreinoso@unemi.edu.ec

¹Ingeniero en Estadística Informática, por la ESPOL. Magíster en Administración de Empresas, por la UTEG. Diplomado en Diseño Curricular por Competencias por la Universidad Técnica de Ambato. Docente de la UNEMI desde el año 2004. Microempresario, asesor y ejecutor de proyectos de investigación en Muestreo, Estadística y Estudios de Mercado.
²Doctor en Física, ESPOCH. Ex director de la comisión de Investigación y Experimentación de la Unidad Educativa N° 3, de la FAE, Taura. Ha elaborado trabajos en el campo de la enseñanza de ciencias exactas, investigación aeroespacial, física nuclear y estudios sobre los efectos de radiaciones ionizantes en seres vivos.



1. Introducción

El presente informe de investigación trata de un análisis del muestreo del proceso de compra de materia prima (papel reciclado) por parte de PAPELERA NACIONAL S.A., en lo referente a la determinación del grado de humedad e impurezas del papel que ingresa a los patios de almacenamiento y de consumo.

PAPELERA NACIONAL S.A. es una empresa agroindustrial que debido a la calidad de sus equipos, a la ingeniería aplicada y a la constante innovación, se ha ganado un reconocido prestigio no sólo a nivel nacional sino también internacionalmente.

La investigación se fundamentó en la aplicación de técnicas muestrales para optimizar los procesos que, basados en métodos tradicionales y normas implantadas en años anteriores, se llevaban a cabo por parte del Departamento de Control de Calidad. Por ello, surge como primera necesidad: analizar si estos procesos cumplían con un estándar de calidad de por lo menos el 95% de confianza. Para la obtención de muestras, el Departamento cuenta con personal humano, y recursos como: hornos, balanzas, tablas de control, fundas y tijeras.

La segunda necesidad va enfocada hacia la calidad del papel reciclado; el control se concentra en dos variables: el peso y el grado de humedad de la materia prima, pero hay que destacar que ambas se encuentran interrelacionadas, pues a mayor humedad más peso del papel (convirtiéndose en un problema de análisis univariado), y es precisamente este detalle que aprovechan ciertos proveedores para obtener un mejor pago por su material, humedeciéndolo antes de ingresar a los patios de almacenamiento.

Además, los camiones en el momento del estudio, no disponían de carpas, afectándose el material cuando hay presencia de lluvias. Actualmente, todos los camiones cumplen con la norma de usar carpas estimado de la humedad lo más cercano posible al valor real.

2. Metodología

Como se mencionó anteriormente, el grado de humedad y el peso son las variables de mayor interés en el presente que cubran el contenido del camión tanto de la materia prima como del producto terminado.

Por estas razones, para evitar un perjuicio a la empresa, se impone una

	OCC	DKL
OCC	1	-0,09237177
DKL	-0,09237177	1

Tabla 1 : Coeficiente de correlación del tipo de materia prima.

penalización por el grado de humedad; en ello radica la importancia de establecer un modelo que permita obtener un valor estudio, para simplificar el modelo, no se consideran las impurezas en el material. En la investigación, se utilizó la siguiente metodología [1]:

- a. Datos históricos;
- b. Elaboración de tablas de muestreo;
- c. Aplicación del muestreo;
- d. Medición y estimación de la humedad;

a. Datos históricos

Se utilizó la información histórica que consta en el Sistema de Administración Financiera de Papelera Nacional S.A. conocido por sus siglas como SAF, la información que se encuentra en esta base de datos informática, contiene datos desde el 1 de enero de 2001 hasta el 30 de noviembre del 2003, con los siguientes ítems: Número de guía, proveedor, procedencia, fecha, tipo de materia prima, peso neto, peso bruto, humedad permitida, humedad detectada, calidad permitida, calidad detectada.

La materia prima que ingresa a los patios de almacenamiento y de consumo consiste en pacas de cartón y papel reciclado de dos tipos:

- DKL (Double Kraft Liner): contiene recortes de planchas de cartones.
- OCC (Old Corrugated Container): contiene cajas de cartón reciclado.

Se procede a analizar la información histórica de los dos últimos años considerando como variables todos los ítems de dicha información.

Revisados y analizados los datos se acordó que la variable más representativa del estudio es la variable HUMEDAD DETECTADA, pues tiene mayor controversia en el pago que se genera a los proveedores y también incide en el peso neto con que ingresa la materia prima a los patios de consumo y de almacenamiento.

Una vez determinada la variable de mayor interés en el análisis, se procedió a establecer la correlación que tiene esta variable con respecto a los tipos de materia prima [2], [3]. (Ver Tabla 1)

Los valores presentados, se los obtuvo después de haber clasificado la humedad por tipo de materia prima esto es DKL y OCC, con estos datos se determinó que se tiene que utilizar un muestreo diferente para cada tipo de materia prima que ingresa, pues la correlación que hay entre el DKL con el

OCC está alejado de 1 (el 1 indicaría que los datos están correlacionados y que se pueden tratar en un muestreo único).

Cabe destacar que en el presente informe sólo se considera la materia prima del tipo OCC.

b. Elaboración de tablas de muestreo

Para asignar el número de pacas que se debe seleccionar para el análisis, se utilizó la siguiente fórmula [4]:

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 s^2}{E^2 + \frac{(Z_{\alpha/2})^2 s^2}{N}} \quad (1)$$

La fórmula nos indica el tamaño de la muestra en un muestreo aleatorio, donde:

- n:** Tamaño de la muestra;
- Z_{α/2}:** El valor de la normal (0,1) de la tabla, en este caso con una confianza del 95%;
- α :** Porcentaje de confianza para este estudio 95%;
- s:** Desviación estándar;
- E:** El error tolerable, definido de acuerdo a los recursos del estudio y en base a la experiencia del especialista; y,
- N:** Tamaño de la población que se está investigando; en este caso, el tamaño de la población es el número de pacas con que ingresan los camiones.

Inicialmente se determina el tamaño de la muestra, es decir el número de pacas que tienen que considerarse para obtener una muestra representativa del camión.

Con los datos históricos, se procedió a realizar un muestreo piloto de días

ingresando la primera semana del año [5], es decir las humedades del 1 al 7 de enero del 2003, con esto se estableció cuantos días del año se debían considerar para tener una muestra representativa en un período anual. El resultado de este análisis fue de 13 días aproximadamente.

Para seleccionar los días del año que iban a conformar esta muestra, se emplea Excel Avanzado: Análisis de Datos y la generación de números aleatorios (entre 1 y 365) validada con una macro para que no existan repeticiones. Cada número representa un día en el año de objeto estudio. La Tabla 2 detalla las fechas seleccionadas.

Con la información de las humedades detectadas para este tipo de materia prima, en los días seleccionados, se obtiene la desviación estándar ($S=0,064072$), trabajando con $E = 0.03$ (este valor se lo determinó de acuerdo a los recursos económicos y a la disponibilidad de equipos), $\alpha=95\%$ (determinado en los objetivos del estudio), $Z_{\alpha/2} = 1.96$ (obtenido de la lectura de la tabla de una distribución normal estándar), y N tamaño de la población (número de pacas en el camión, varía de 1 a 2000 teóricamente).

Mediante la aplicación de la fórmula (1), reemplazando los valores arriba mencionados se consigue la siguiente tabla de muestreo: (ver Tabla 3).

N°	NÚMERO ALEATORIO	DÍA DEL AÑO
1	14	Ene-14
2	79	Mar-20
3	111	Abr-21
4	147	May-27
5	164	Jun-13
6	171	Jun-20
7	195	Jul-14
8	206	Jul-25
9	219	Ago-07
10	221	Ago-09
11	251	Sep-08
12	291	Oct-18
13	294	Oct-21

Tabla 2. Lista de los días seleccionados del año para el estudio.

N (número de pacas en camión)	Tamaño de la muestra (n)
1	1
[2-3]	2
[4-5]	3
[6-8]	4
[9-12]	5
[13-19]	6
[20-31]	7
[32-61]	8
[62-262]	9
[263 o más]	10

Tabla 3. Tamaño de la muestra para el tipo OCC.



c. Aplicación del Muestreo

Esta etapa consiste en asignar una posición a cada paca que forma parte del camión, es decir, el camión tendrá tres valores definidos considerados como fila, columna y largo, como se ilustra en la Figura 1.

Para escoger las respectivas pacas a ser examinadas según el número determinado en la tabla de muestreo, se procede a generar el espacio muestral de cada camión, pero no se lo puede realizar manualmente, es por ello que se diseñó un programa en Visual Basic 5.0, donde las variables de entrada son: el número de filas (F), columnas (C) y llargo (L) asociado al camión; y este programa automáticamente proporciona las posiciones aleatorias de las pacas a seleccionarse [6].

Si bien es cierto, la distribución de pacas en el camión no es 100% uniforme, y pueden existir espacios vacíos, esta posibilidad se reduce pues los costos de transportación de materia

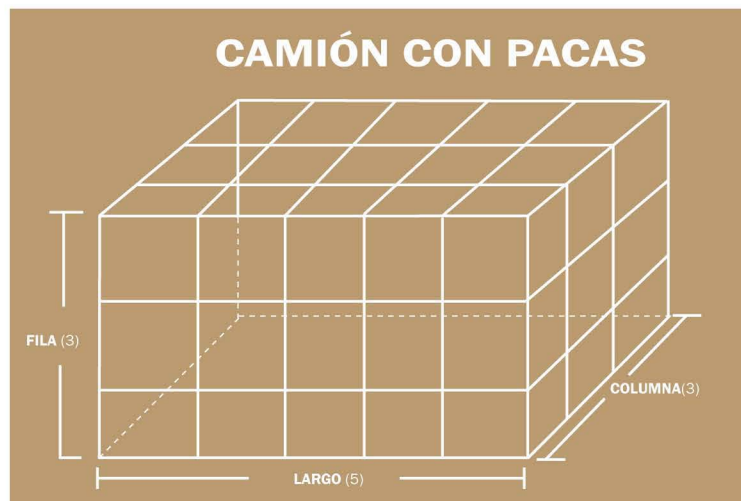


Figura 1. Posición de las pacas dentro del camión.

prima son los mismos para un camión lleno o semivacío, entonces los proveedores optimizan recursos transportando camiones completamente llenos.

Las variables F, C y L son independientes, y el programa se diseñó en tal

sentido.

El muestreo se realizó por 3 semanas, recabando información de 19 camiones que fueron escogidos para ser analizados, las características físicas de interés para el estudio se exhiben en la Tabla 4.

CAMIÓN	# DE GUÍA	FECHA	TIPO	# DE PLACAS	PESO BRUTO (kg)	PROVEEDOR	PROCEDENCIA	F,C,L, DE CARRO
1	11148	09-Dic	OCC	28	13,49	PROVEEDOR 1	PICHINCHA	F=3C=2L=9
2	37639	10-Dic	DKL	30	13,42	PROVEEDOR 2	GUAYAS	F=3C=3L=4
3	11661	10-Dic	OCC	51	22,03	PROVEEDOR 1	MANABÍ	F=4C=2L=9
4	13749	11-Dic	OCC	26	12,35	PROVEEDOR 1	GUAYAS	F=3C=2L=5
5	2759	11-Dic	DKL	36	26,6	PROVEEDOR 3	GUAYAS	F=3C=2L=9
6	13238	12-Dic	OCC	36	8,94	PROVEEDOR 1	TUNGURAHUA	F=3C=2L=6
7	13773	12-Dic	OCC	32	15,18	PROVEEDOR 1	GUAYAS	F=3C=2L=6
8	213	13-Dic	OCC	40	10,04	PROVEEDOR 4	GUAYAS	F=4C=2L=5
9	12441	15-Dic	OCC	24	10,78	PROVEEDOR 1	PICHINCHA	F=3C=2L=4
10	13327	15-Dic	OCC	56	7,27	PROVEEDOR 1	PINCHINCHA	F=4C=3L=5
11	13780	17-Dic	OCC	24	11,71	PROVEEDOR 1	GUAYAS	F=3C=2L=4
12	13790	18-Dic	OCC	36	16,24	PROVEEDOR 1	GUAYAS	F=3C=2L=6
13	12958	19-Dic	OCC	22	8,45	PROVEEDOR 1	PICHINCHA	F=3C=2L=4
14	218	14-Ene	OCC	40	9,46	PROVEEDOR 4	GUAYAS	F=3C=2L=7
15	001	14-Ene	DKL	30	17,13	PROVEEDOR 5	GUAYAS	F=3C=2L=5
16	11271	15-Ene	OCC	50	5,31	PROVEEDOR 1	LOJA	F=3C=2L=8
17	11769	16-Ene	OCC	80	16,96	PROVEEDOR 1	ORO	F=3C=3L=9
18	002	16-Ene	DKL	30	17,27	PROVEEDOR 5	GAUAYAS	F=3C=2L=5
19	003	17-Ene	DKL	27	18,97	PROVEEDOR 5	GUAYAS	F=3C=2L=5

Tabla 4. Características de los camiones muestreados.

Para analizar cada paca escogida, se aplicó el mismo proceso descrito que para los camiones; es decir, medimos sus dimensiones, obteniéndose los valores de fila, columna y largo, expresados en centímetros. Se utilizó tanto la tabla muestral (ver Tabla 3) como el software diseñado en Visual para saber la cantidad de muestras de cartón que deben extraerse y su posición (en coordenadas x, y, z) con respecto a la paca [7].

d. Medición y estimación de la humedad

Debido a las características físicas de los hornos disponibles, las muestras de cartón escogidas tienen una dimensión de 15 x 15 x 2 cm. Todas ellas, con una debida identificación de la paca y camión respectivo, fueron llevadas a los laboratorios para su respectivo análisis de humedad.

En el laboratorio, se pesa al grupo de muestras extraídas por cada paca antes de introducirlas a los hornos (valor que llamamos PAI), permanecen un tiempo prudencial en el horno hasta que se sequen, y luego se las vuelve a pesar (PHI); con esta información se procede a calcular la humedad relativa respectiva (HRi) por paca.

$$HR_i = \left| \frac{PA_i - PH_i}{PA_i} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Finalmente, se realiza el promedio de los valores parciales, el mismo que



Figura 2. Representación esquemática para seleccionar la muestra respecto a la paca de papel reciclado.

será el estimador de toda la humedad del camión, considerando un intervalo de ± 2 desviaciones estándar (con la intención de tomar en cuenta al 95% de los datos del camión).

$$\overline{HR} = \frac{\sum_{i=1}^n HR_i}{n} \quad (3)$$

$$\sigma_{HR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (HR_i - \overline{HR})^2}{n}} \quad (4)$$

Es así que con la fórmulas (3) y (4) se plantea el intervalo estimado para la humedad relativa, el mismo que está dado por:

$$\overline{HR} \pm 2 \sigma_{HR} \quad (5)$$

3.- Resultados y discusión

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos del grado de humedad (en tanto por ciento) mediante la aplicación del modelo muestral durante las tres semanas de recopilación de datos.



Figura 3: Horno de secado para determinar la humedad del papel.

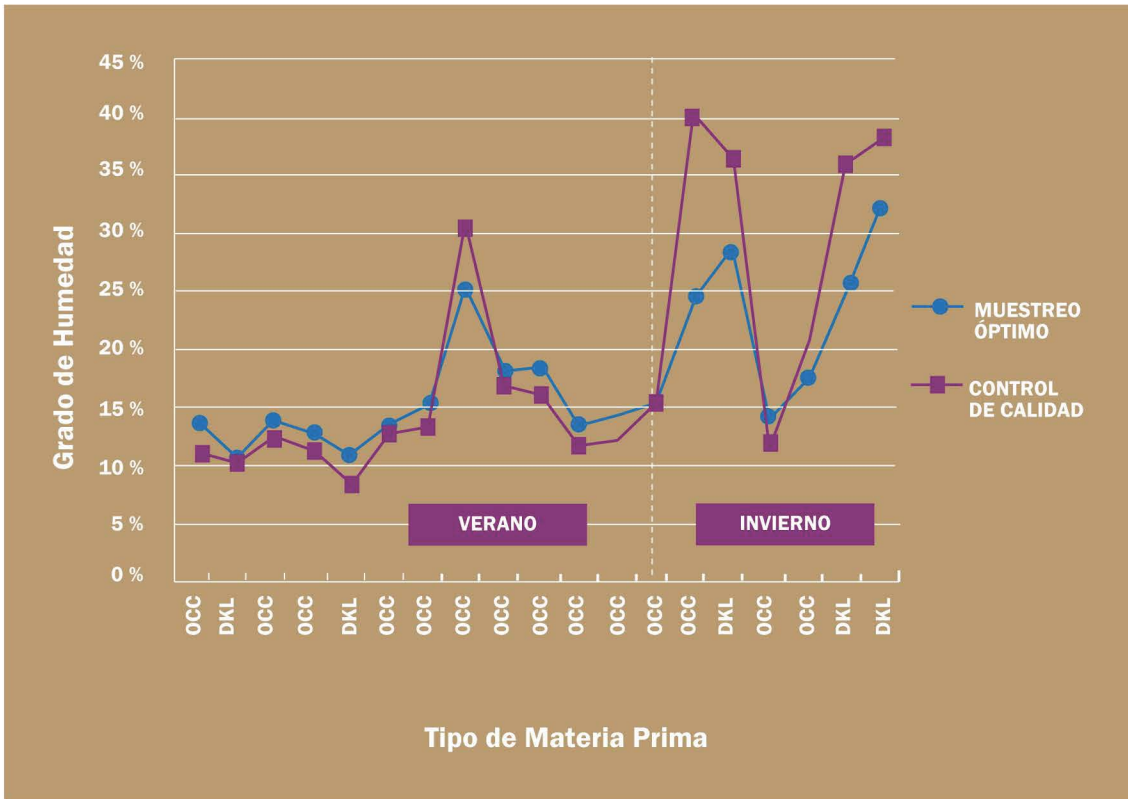
GRADO DE HUMEDAD PACAS									
CAMION	TIPO	1	2	3	4	5	6	7	MEDIA DE HUMEDADES (PROMEDIO)
1	OCC	14,83%	12,46%	13,01%	14,82%	14,14%	12,72%		13,66%
2	DKL	9,39%	10,49%	9,72%	10,54%	10,92%			10,21%
3	OCC	13,15%	11,46%	12,85%	15,30%	12,70%	15,22%	15,58%	13,75%
4	OCC	13,72%	14,00%	11,31%	11,04%	12,86%			12,59%
5	DKL	10,28%	10,03%	10,38%	10,67%	11,78%			10,63%
6	OCC	12,62%	13,33%	13,56%	14,42%	12,76%	14,36%		13,51%
7	OCC	12,77%	14,74%	21,71%	12,60%	12,96%	13,89%		14,78%
8	OCC	26,93%	34,57%	17,46%	25,66%	21,33%	26,29%		25,37%
9	OCC	16,00%	18,58%	18,27%	18,21%	18,21%			17,86%
10	OCC	17,77%	17,61%	17,26%	15,68%	22,91%			18,25%
11	OCC	15,09%	14,45%	10,82%	12,06%	13,44%			13,17%
12	OCC	11,81%	12,48%	14,52%	16,44%	14,66%			13,98%
13	OCC	19,30%	11,37%	15,81%	13,58%	14,44%			14,90%
14	OCC	32,56%	22,67%	17,92%	25,04%	20,46%	27,28%		24,32%
15	DKL	30,83%	38,63%	21,32%	21,53%	23,89%	35,86%		28,68%
16	OCC	15,30%	12,46%	16,94%	13,33%	11,90%	12,96%		13,82%
17	OCC	37,67%	11,22%	9,07%	12,95%	10,43%	23,57%		17,48%
18	DKL	13,33%	17,02%	39,52%	31,35%	23,33%			24,91%
19	DKL	28,70%	25,11%	51,15%	30,12%	26,43%			32,30%

Tabla 5. Cálculo de humedades aplicando el muestreo óptimo.

En la Tabla 6 y en la Gráfica 1, se puede apreciar la comparación de las humedades obtenidas tanto por el muestreo como por el modelo que utiliza habitualmente el Departamento de Control de Calidad de la empresa [8].

CAMIÓN	TIPO DE PAPEL	MUESTREO ÓPTIMO	CONTROL DE CALIDAD
1	OCC	13,66%	10,90%
2	DKL	10,21%	9,90%
3	OCC	13,75%	12,00%
4	OCC	12,59%	11,00%
5	DKL	10,63%	8,06%
6	OCC	13,51%	12,50%
7	OCC	14,78%	13,10%
8	OCC	25,37%	30,40%
9	OCC	17,86%	16,40%
10	OCC	18,25%	15,80%
11	OCC	13,17%	11,30%
12	OCC	13,98%	11,80%
13	OCC	14,90%	15,20%
14	OCC	24,32%	40,00%
15	DKL	28,68%	36,20%
16	OCC	13,82%	11,20%
17	OCC	17,48%	20,40%
18	DKL	24,91%	35,80%
19	DKL	32,30%	37,90%

Tabla 6. Comparación entre las humedades de los dos modelos



Gráfica 1. Evolución de las humedades obtenidas por los dos modelos en función del tiempo.

Los resultados obtenidos muestran que los camiones que ingresan a los patios de consumo no cumplen los mínimos permitidos por la empresa para el pago del 100% de la materia prima. También se puede observar que la diferencia en valor absoluto de estos resultados es significativa.

Además, en la época de verano las humedades con relación a los dos modelos no presentan discrepancias significativas; pero en época invernal estas diferencias aumentan.

Como un mecanismo, para validar la propuesta, se acondicionó dos camiones (camiones 18 y 19 de la Tabla 3) que contenían materia prima, cuyos pesos reales se conocían previamente, pero que se mantuvieron en reserva hasta el final del proceso. Los camiones ingresaron a los patios de almacenamiento, se aplicaron simultáneamente los dos: el muestreo indicado y el proceso que usualmente lleva a cabo el departamento de control de calidad. Los resultados arrojados por el modelo tuvieron una aproximación del

98.32% con respecto al valor real, frente a un 63,48% del método tradicional.

4.- Conclusiones

Todo estudio muestral tiene sus ventajas y desventajas dentro el campo de acción que se lo esté utilizando; por ejemplo, utilizando técnicas estadísticas se pueden obtener resultados confiables que contribuyen a optimizar recursos económicos, recursos humanos e inclusive pueden originar la formulación de modelos matemáticos para predecir en cualquier espacio de tiempo el ingreso de un camión indicando el proveedor, la cantidad de pacas, y dar un valor estimado de la humedad.

Dentro de los inconvenientes presentados en la aplicación del modelo podemos anotar que: los tiempos empleados para la recolección de muestras son muy grandes y existen dos hornos con espacio físico reducido.

Para mejorar las condiciones de aplicación del modelo se necesita invertir en personal y equipamiento; con la salvedad de

que al realizar el análisis costo beneficio por la implementación de estas medidas, persisten las ventajas desde el punto de vista económico del diseño muestral propuesto.

5.- Agradecimientos

A Papelera Nacional S.A., por contribuir al adelanto científico y aplicativo de la ciencia en Milagro y porque no decir del Ecuador.

Referencias Bibliográficas

- [1] Spiegel, M. (1998). Estadística, Colección Shaum, Mc Graw Hill, 4ta edición, México, pp. 141 - 144.
- [2] Devore, J. (1998). Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias, International Thomson Editores, 4ta edición, México, p. 491.
- [3] Webster, A. (2000). Estadística aplicada a los negocios y economías, Mc Graw Hill, 3ra edición, Bogotá, pp. 345 - 347.
- [4] Anderson, D., Sweeney, D. and Williams, T. (2001). Estadística para administración y economía, volumen II, International Thomson Editores, México, pp. 28 - 29.
- [5] Galindo, E. (1999). Estadística para la administración y la ingeniería, Gráficas Mediavilla, Quito, p. 392.
- [6] Azarang, G. (1998). Simulación y análisis de modelos estocásticos. Mc Graw Hill, 2da edición, México, p. 135.
- [7] Swokowsky, E. (1989). Cálculo con geometría analítica. Grupo editorial Iberoamericana, México, p. 698.
- [8] Anderson, D., op. cit., pp. 557 - 561.