

COMPARACION EN MASA ENTRE LABORATORIOS PERTENECIENTES A LA REGION DE SIM - CAMET COORDINADA POR EL CENAM (SIM.7.16a, SIM.7.16b)

Jorge Nava¹, Luis O. Becerra¹, Juan G. Pérez², Douglas Brito³,
Rómulo Salguero⁴, Paula Montero⁵, Hernando Florez⁶
¹CENAM–México, ²LANAMET–Nicaragua, ³CONACYT–El Salvador,
⁴LNMG–Guatemala, ⁵LACOMET–Costa Rica, ⁶CENAMEP–Panamá

Tel: (+52) 442 2 11 05 00, Fax: (+52) 442 2 11 05 68, e-mail: jnava@cenam.mx, lbecerra@cenam.mx

Resumen: De junio a diciembre del 2003 se llevo a cabo una ronda de comparación en masa entre los países miembros de la región de CAMET (América Central) donde CENAM fungió como laboratorio piloto.

Seis patrones de masa fueron utilizados en los siguientes valores nominales: 2 kg, 1 kg, 200 g, 50 g, 1 g y 200 mg. Estos patrones de masa cumplen con la clase de exactitud E_2 [1,2]. En el presente trabajo se presentan los resultados obtenidos en este ejercicio.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del marco del SIM se llevo a cabo la reunión regional de CAMET en la ciudad de San José, Costa Rica en Diciembre de 2002, en esta reunión se acepto que CENAM funja como laboratorio piloto en una comparación de masa de los países pertenecientes a esta región debido a que el CENAM ha participado en Comparaciones Clave del CCM del CIPM en esta misma magnitud.

En este informe se presentan los resultados de una comparación de seis patrones viajeros entre laboratorios pertenecientes a la región de CAMET.

Este programa fue coordinado por el Centro Nacional de Metrología (CENAM), México. Para este ejercicio se utilizaron patrones de masa de los siguientes valores nominales: 2 kg, 1 kg, 200 g, 50 g, 1 g, y 200 mg, todos en acero inoxidable.

Las mediciones de esta comparación se realizaron entre mayo y noviembre de 2003. El Centro Nacional de Metrología (CENAM) proporcionó los patrones de masa (patrones viajeros) y los valores de referencia.

Los patrones viajeros fueron donados al CENAM por la compañía Masstech S. A.¹ de C.V. a solicitud del CENAM para este ejercicio de comparación internacional.

¹ Masstech S.A. de C.V. fabricante mexicano de patrones de masa. masstech@avantel.net

Para tal efecto a los patrones viajeros se les realizaron mediciones de masa, volumen², susceptibilidad magnética², magnetización permanente² así como una comparación visual de su acabado superficial contra patrones de rugosidad y se comprobó que las pesas cumplen con las características de su clase de exactitud (OIML E_2) [1,2].

El protocolo de la comparación así como los datos de volumen de los patrones viajeros fueron incluidos en el estuche de transporte.

La identificación SIM (Sistema Interamericano de Metrología) para esta comparación es **SIM.7.16a** (1 kg) y **SIM.7.16b** (2 kg, 200 g, 50 g, 1 g y 200 mg).

2. OBJETIVO DEL PROGRAMA

El objetivo de la realización de esta comparación es construir y mantener confianza sobre la capacidad técnica de los miembros de CAMET y trabajar sobre reconocimientos mutuos multilaterales en la región y a nivel internacional. Esta comparación proporciona evidencia objetiva acerca de la competencia técnica de los laboratorios, y por otro lado ayuda a descubrir oportunidades de mejora en los sistemas de aseguramiento metrológico de ellos.

² A la pesa de 200 mg no se le realizaron las pruebas de medición de volumen, susceptibilidad magnética y magnetización permanente. Para el valor de densidad de esta pesa se tomó el dato del fabricante $7\,950\text{ kg/m}^3$.

Uno de los problemas de realizar comparaciones donde se involucran diferentes economías es que cada una de ellas tiene diferentes necesidades y por lo tanto diferentes capacidades. Lo anterior se puede ver representado en los resultados de los diferentes laboratorios participantes.

3. PARTICIPANTES

En la tabla 1 se indican los cinco laboratorios participantes de la región de CAMET y el laboratorio piloto:

Tabla 1.- Laboratorios participantes

Laboratorio		Iden	País
Centro Nacional de Metrología	CENAM	PL	México
Laboratorio Nacional de Metrología	LANAMET	A	Nicaragua
Centro Nacional de Metrología de Panamá	CENAMEP	B	Panamá
Laboratorio Costarricense de Metrología	LACOMET	C	Costa Rica
Laboratorio Nacional de Metrología de Guatemala	LNMG	D	Guatemala
Laboratorio Nacional de Metrología Legal	CONACYT	E	El Salvador

4. DISEÑO DEL PROGRAMA Y RONDA DE COMPARACION

El programa fue diseñado de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) [3] y se utilizaron seis patrones viajeros (2 kg, 1 kg, 200 g, 50 g, 1 g y 200 mg), estos patrones de masa cumplen con los requisitos de la clase de exactitud E₂ de la Recomendación Internacional OIML R111 [1,2]. Estos patrones viajeros fueron circulados solamente en un grupo (pétalo) en toda la región de CAMET con mediciones de control por parte del laboratorio piloto antes de circularlos y al regreso de los patrones viajeros.

El traslado de los patrones viajeros de un Instituto al siguiente fue realizado persona a persona para evitar cualquier posible contaminación o daño en los mismos.

La tabla 2 muestra la secuencia en las mediciones y las fechas de inicio de las mediciones de cada laboratorio:

Tabla 2.- Secuencia de las mediciones

INSTITUTO	PERIODO DE MEDICIÓN
CENAM	Mayo 2003
LANAMET	Junio 2003
CENAMEP	Julio 2003
LACOMET	Julio 2003
LNMG	Agosto 2003
CONACYT	Septiembre 2003
CENAM	Noviembre 2003

La figura 1 muestra la secuencia del transporte y medición de los patrones viajeros:

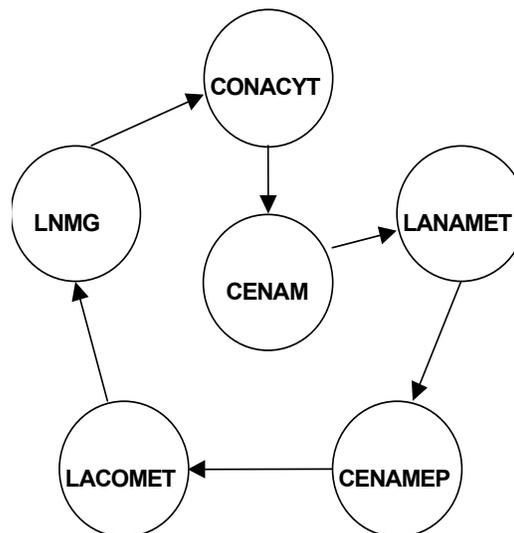


Figura 1.- Secuencia del transporte y medición de los patrones viajeros

5. INFORME DE LOS PARTICIPANTES

Los resultados de las mediciones fueron enviados al laboratorio piloto en un informe final de resultados donde se incluyó además una lista de los equipos más representativos de las mediciones (balanzas y sensores de las condiciones ambientales) así como la referencia que demuestra la trazabilidad de los patrones utilizados por cada laboratorio.

6. ESTABILIDAD DE LOS PATRONES VIAJEROS

El laboratorio piloto (CENAM) verificó la estabilidad de los patrones viajeros por un periodo de tres meses antes de iniciar las mediciones de los laboratorios y no se encontró un valor de deriva significativo; los valores de masa convencional de los patrones viajeros se mantuvieron estables durante este periodo.

Los patrones viajeros fueron circulados entre los cinco laboratorios participantes sin que se hayan presentado incidentes considerables que hubiese requerido el regreso de los patrones viajeros al laboratorio piloto para una medición intermedia.

7. VALORES DE REFERENCIA

7.1 Para esta comparación los valores de referencia fueron determinados por el CENAM con una incertidumbre expandida menor a 1/3 del Error Máximo Permitido (EMP) para la clase E₁, sin embargo la incertidumbre de referencia declarada corresponde a 1/3 del EMP de esta clase de exactitud.

7.2 Antes de circular los patrones viajeros de 2 kg, 1 kg, 200 g, 50 g, 1 g se determinó el valor de volumen en el CENAM; para el patrón de 200 mg se utilizó un valor de densidad de 7 950 kg/m³ el cual fue proporcionado por el fabricante.

7.3 Las incertidumbres expandidas de los valores de referencia son equivalentes a la incertidumbre estándar combinada multiplicada por el factor de cobertura *k*=2. Estos valores de incertidumbre fueron calculados de acuerdo con la GUM-1995 [4]. La incertidumbre expandida corresponde a una probabilidad de aproximadamente el 95%. La incertidumbre esta compuesta por la componente debido al patrón de referencia utilizado, proceso de medición y la corrección por el empuje del aire. La componente de incertidumbre debido al cambio en masa a largo plazo no fue incluida por considerarse despreciable en relación con el resto de las componentes de incertidumbre.

7.4 La tabla 3 muestra los cambios en masa entre las re-calibraciones por el laboratorio piloto y la incertidumbre resultante de la deriva es calculada de acuerdo con la ecuación c):

Tabla 3.- Cambios en masa de los patrones viajeros

Valor Nominal	Incertidumbre de referencia (<i>k</i> =2)	Δ <i>m</i>	Incertidumbre de la deriva (<i>k</i> =2)
2 kg	0,30 mg	0,01 mg	0,006 mg
1 kg	0,15 mg	0,01 mg	0,006 mg
200 g	0,03 mg	0,01 mg	0,006 mg
50 g	0,010 mg	0,003 mg	0,002 mg
1 g	0,003 mg	0,001 mg	0,000 6 mg
200 mg	0,002 0 mg	0,000 6 mg	0,000 4 mg

7.5 La inestabilidad de los patrones ha sido tomada en cuenta para los cálculos de los valores de referencia e incluidos en los valores de E_n[5] como componente adicional de incertidumbre.

7.6 Por lo tanto los valores de referencia para cada laboratorio fueron calculados de acuerdo con las siguientes reglas:

7.6.1 Si dos mediciones consecutivas de los valores de referencia están dentro de los límites de la incertidumbre de referencia, el valor medio es utilizado para todos los participantes.

7.6.2 El protocolo de la comparación establecía que si dos mediciones consecutivas de los valores de referencia, *m*₁ y *m*₂, determinadas en tiempos *t*₁ y *t*₂, difirieran significativamente de los límites de incertidumbre de referencia, el valor de masa *m*_{PL,*i*} empleado por cada participante *i*, midiendo a un tiempo *t*_{*i*}, sería interpolado basándose en una deriva lineal en el tiempo, utilizando la siguiente ecuación:

$$m_{PL,i} = m_{PL,1} + (m_{PL,2} - m_{PL,1}) \frac{t_i - t_1}{t_2 - t_1} \quad a)$$

Sin embargo, como puede apreciarse en la tabla 3, los patrones viajeros demostraron tener una gran estabilidad por lo cual fue innecesario el uso de este esquema de corrección por deriva en el tiempo.

8. RESULTADO DE LOS LABORATORIOS PARTICIPANTES

8.1 Los resultados fueron enviados directamente al laboratorio piloto (CENAM).

8.2 Los resultados de las mediciones se muestran en forma tabular 4 a 9 y en representación

gráfica 1 a 6. El valor de E_n [4] se obtiene de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_n = \frac{m_A - m_{PL}}{\sqrt{U_A^2 + U_{PL}^2 + U_d^2}} \quad \text{b)}$$

Donde m_A y U_A es el valor de masa convencional y la incertidumbre asociada con cada participante, m_{PL} y U_{PL} es el valor de masa convencional y la incertidumbre asociada del laboratorio piloto.

La incertidumbre debido a la deriva U_d debido a la inestabilidad en masa de los patrones viajeros es tomada en cuenta en la siguiente ecuación:

$$U_d = k \sqrt{\left(\frac{m_{PL,2} - m_{PL,1}}{2\sqrt{3}}\right)^2} \quad \text{c)}$$

8.3 En las tablas 10 a 15 están incluidos los valores de E_n para todos los patrones viajeros considerando todos los participantes incluyendo el laboratorio piloto, en este programa solo consideramos los dos siguientes casos.

8.4 Participante A y laboratorio piloto PL

El valor E_n es calculado como la ecuación (b): Las mediciones son consideradas no correlacionadas, en este caso el denominador de la ecuación (b) esta dado como sigue:

$$\sqrt{\left(U_A^2 + U_{PL}^2 + \frac{(m_{PL,2} - m_{PL,1})^2}{3}\right)} \quad \text{d)}$$

8.5 Participante A y B del mismo grupo (pétalo)

El valor E_n es calculado como la ecuación (b): Las mediciones son consideradas no correlacionadas, en este caso el denominador de la ecuación (b) esta dado como sigue:

$$\sqrt{\left(U_A^2 + U_B^2 + U_{PL}^2 + \frac{(m_{PL,2} - m_{PL,1})^2}{3}\right)} \quad \text{e)}$$

Tabla 4.- Resultados del patrón de 2 kg

Laboratorio	Valor de referencia $m_{PL}-m_n$ (mg)	Valor del laboratorio $m_{PL}-m_n$ (mg)	Incertidumbre del laboratorio U_l (mg)
CENAM		+ 1,53	0,30
LANAMET	+ 1,525	+ 1,50	1,00
CENAMEP	+ 1,525	+ 1,50	0,80
LACOMET	+ 1,525	+ 2,19	2,18
LNMG	+ 1,525	+ 1,30	3,40
CONACYT	+ 1,525	+ 4,00	3,00
CENAM		+ 1,52	0,30

Tabla 5.- Resultados del patrón de 1 kg

Laboratorio	Valor de referencia $m_{PL}-m_n$ (mg)	Valor del laboratorio $m_{PL}-m_n$ (mg)	Incertidumbre del laboratorio U_l (mg)
CENAM		+ 0,63	0,15
LANAMET	+ 0,635	+ 0,80	0,52
CENAMEP	+ 0,635	+ 0,58	0,40
LACOMET	+ 0,635	- 0,29	0,30
LNMG	+ 0,635	+ 1,00	1,00
CONACYT	+ 0,635	+ 1,00	1,00
CENAM		+ 0,64	0,15

Tabla 6.- Resultados del patrón de 200 g

Laboratorio	Valor de referencia $m_{PL}-m_n$ (mg)	Valor del laboratorio $m_{PL}-m_n$ (mg)	Incertidumbre del laboratorio U_l (mg)
CENAM		+ 0,15	0,03
LANAMET	+ 0,145	+ 0,10	0,12
CENAMEP	+ 0,145	+ 0,12	0,08
LACOMET	+ 0,145	+ 0,079	0,06
LNMG	+ 0,145	+ 0,26	0,20
CONACYT	+ 0,145	+ 0,20	0,10
CENAM		+ 0,14	0,03

Tabla 7.- Resultados del patrón de 50 g

Laboratorio	Valor de referencia $m_{PL}-m_n$ (mg)	Valor del laboratorio $m_{PL}-m_n$ (mg)	Incertidumbre del laboratorio U_l (mg)
CENAM		+ 0,079	0,010
LANAMET	+ 0,078	+ 0,080	0,032
CENAMEP	+ 0,078	+ 0,060	0,040
LACOMET	+ 0,078	+ 0,048	0,022
LNMG	+ 0,078	+ 0,080	0,100
CONACYT	+ 0,078	+ 0,100	0,100
CENAM		+ 0,076	0,010

Tabla 8.- Resultados del patrón de 1 g

Laboratorio	Valor de referencia $m_{PL}-m_n$ (mg)	Valor del laboratorio $m_{PL}-m_n$ (mg)	Incertidumbre del laboratorio U_i (mg)
CENAM		+ 0,005	0,003
LANAMET	+ 0,004 5	+ 0,020	0,024
CENAMEP	+ 0,004 5	+ 0,005	0,006
LACOMET	+ 0,004 5	+ 0,003 0	0,006
LNMG	+ 0,004 5	+ 0,005 4	0,003
CONACYT	+ 0,004 5	+ 0,000	0,010
CENAM		+ 0,004	0,003

Tabla 9.- Resultados del patrón de 200 mg

Laboratorio	Valor de referencia $m_{PL}-m_n$ (mg)	Valor del laboratorio $m_{PL}-m_n$ (mg)	Incertidumbre del laboratorio U_i (mg)
CENAM		+ 0,000 7	0,002 0
LANAMET	+ 0,000 4	- 0,010 0	0,012 0
CENAMEP	+ 0,000 4	+ 0,002 0	0,004 0
LACOMET	+ 0,000 4	- 0,005 1	0,004 0
LNMG	+ 0,000 4	+ 0,002 2	0,002 0
CONACYT	+ 0,000 4	+ 0,000	0,010 0
CENAM		+ 0,000 1	0,002 0

Donde:

m_n es el valor nominal del patrón viajero correspondiente

9. CONCLUSIONES

Los 30 resultados en masa obtenidos de los patrones viajeros fueron utilizado para calcular los valores respectivos de E_n entre los participantes ver tablas 10 a 15 de los cuales solo 3 son mayores a 1 respecto al laboratorio piloto y 6 mayores a 1 entre ellos.

En los casos donde E_n fue mayor a 1 acciones correctivas fueron llevadas a cabo por los laboratorios.

Los nombres de los laboratorios participantes son presentados común acuerdo entre todos.

AGRADECIMIENTOS

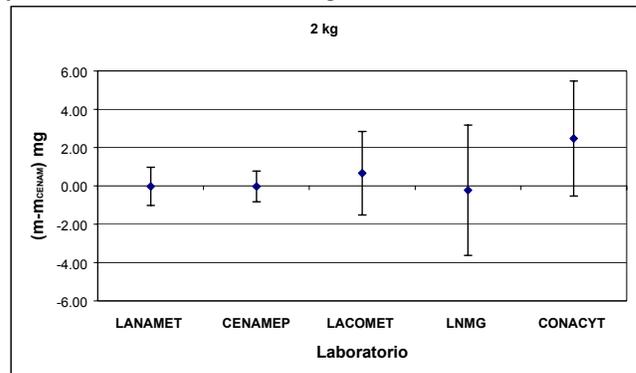
Este programa de Comparación fue apoyado parcialmente con el Proyecto SIM/OEA "Metrology for the Americas: Measurement Infrastructure in Support of Free Trade and Protection of the

Environment for the America", 2000-2004, y por el proyecto CTCAP-China Taiwan.

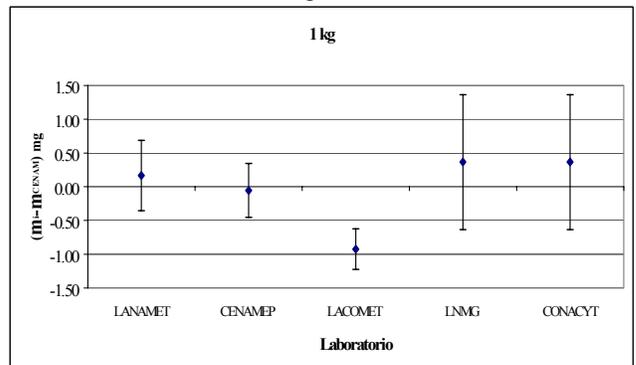
REFERENCIAS

- [1] OIML R111, Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂, M₃, 1994.
- [2] Norma Oficial Mexicana NOM-038-SCFI-2000, Pesa de clase de exactitud E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₂, M₃.
- [3] Guidelines for CIPM key comparisons <http://www.bipm.fr/utills/en/pdf/guidelines.pdf>
- [4] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1995.
- [5] W. Wöger, "Remarks on the E_n-criterion Used in Measurement Comparison, Internationale Zusammenarbeit.PTB-Mitteilungen 1999. Pages 24-27.

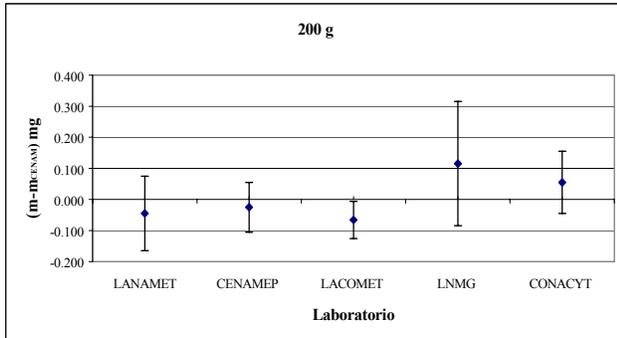
Gráfica 1.- Diferencia entre el valor del laboratorio y el valor de referencia: 2 kg



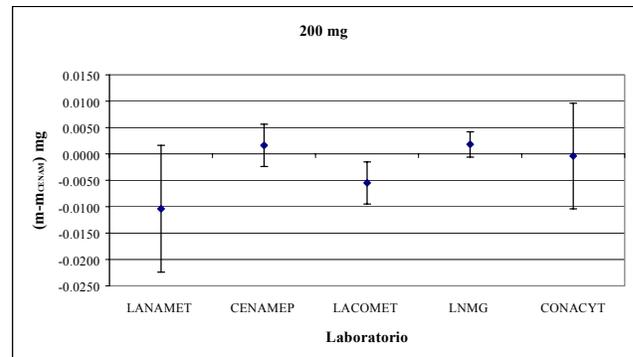
Gráfica 2. Diferencia entre el valor del laboratorio y el valor de referencia: 1 kg



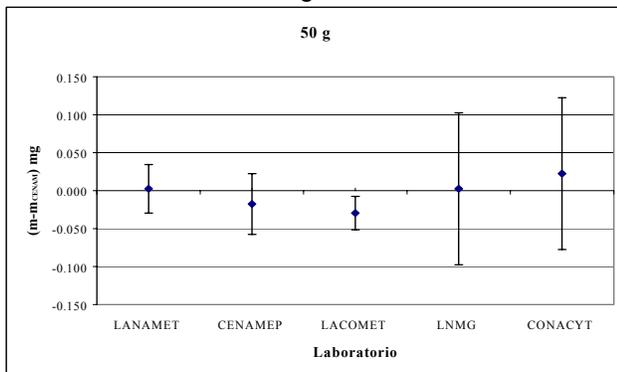
Gráfica 3.- Diferencia entre el valor del laboratorio y el valor de referencia: 200 g



Gráfica 6.- Diferencia entre el valor del laboratorio y el valor de referencia: 200 mg



Gráfica 4.- Diferencia entre el valor del laboratorio y el valor de referencia: 50 g



Valores de E_n entre los participantes:

Tabla 10.- Valores de E_n para 2 kg

2 kg	PL	A	B	C	D	E
PL		-0,02	-0,03	-0,30	-0,07	-0,82
A	0,02		0,00	-0,29	-0,06	-0,79
B	0,03	0,00		-0,29	-0,06	-0,80
C	0,30	0,29	0,29		-0,22	-0,49
D	0,07	0,06	0,06	0,22		-0,59
E	0,82	0,79	0,80	0,49	0,59	

Tabla 11.- Valores de E_n para 1 kg

1 kg	PL	A	B	C	D	E
PL		-0,32	-0,14	-3,02	-0,36	-0,36
A	0,32		-0,33	-1,81	-0,18	-0,18
B	0,14	0,33		-1,73	-0,39	-0,39
C	3,02	1,81	1,73		-1,23	-1,23
D	0,36	0,18	0,39	1,23		0,00
E	0,36	0,18	0,39	1,23	0,00	

Gráfica 5.- Diferencia entre el valor del laboratorio y el valor de referencia: 1g

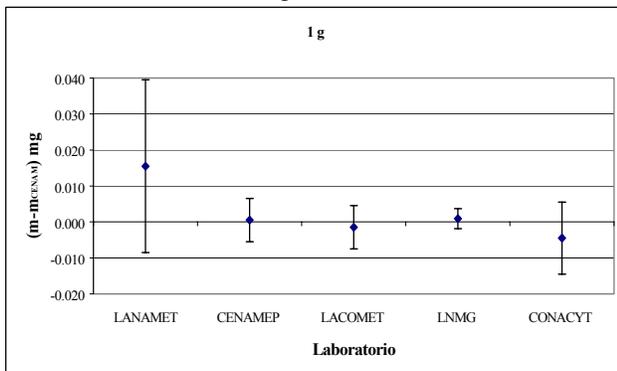


Tabla 12.- Valores de E_n para 200 g

200 g	PL	A	B	C	D	E
PL		-0,36	-0,29	-0,98	-0,57	-0,53
A	0,36		-0,14	-0,15	-0,68	-0,63
B	0,29	0,14		-0,39	-0,64	-0,61
C	0,98	0,15	0,39		-0,86	-1,00
D	0,57	0,68	0,64	0,86		-0,27
E	0,53	0,63	0,61	1,00	0,27	

Tabla 13.- Valores de E_n para 50 g

50 g	PL	A	B	C	D	E
PL		-0,07	-0,43	-1,22	-0,02	-0,22
A	0,07		-0,38	-0,80	0,00	-0,19
B	0,43	0,38		-0,26	-0,8	-0,37
C	1,22	0,80	0,26		-0,31	-0,51
D	0,02	0,00	0,18	0,31		-0,14
E	0,22	0,19	0,37	0,51	0,14	

Tabla 14.- Valores de E_n para 1 g

1 g	PL	A	B	C	D	E
PL		-0,64	-0,07	-0,22	-0,22	-0,43
A	0,64		-0,60	-0,68	-0,60	-0,76
B	0,07	0,60		-0,22	-0,05	-0,41
C	0,22	0,68	0,22		-0,33	-0,25
D	0,22	0,60	0,05	0,33		-0,50
E	0,43	0,76	0,41	0,25	0,50	

Tabla 15.- Valores de E_n para 200 mg

200 mg	PL	A	B	C	D	E
PL		-0,85	-0,36	-1,23	-0,57	-0,04
A	0,85		-0,94	-0,38	-0,98	-0,63
B	0,36	0,94		-1,18	-0,04	-0,18
C	1,23	0,38	1,18		-1,43	-0,47
D	0,57	0,98	0,04	1,43		-0,21
E	0,04	0,63	0,18	0,47	0,21	

PL LABORATORIO PILOTO

A LANAMET

B CENAMEP

C LACOMET

D LNMG

E CONACYT