

# ECIPERU

Encuentro Científico Internacional





## ECIPERU

Revista del Encuentro Científico Internacional

Volumen 6 - Número 1  
Enero - Junio 2009

ISSN: 1813 - 0194

### Director

Modesto Montoya Zavaleta

### Editor

Modesto Montoya Zavaleta

### Comité editorial

Alcidez López Milla  
Jorge Serquén Jiménez  
José Solís Véliz  
Juan Rodríguez Rodríguez  
Julio Santiago Contreras  
Justo Rojas Tapia  
Luís Romero Echevarría  
Lobato Hoyos Ivan Pedro  
Miguel Risco Castillo  
Naldo Balarezo Gerstein

E-mail: revista@cienciaperu.org

Teléfono: 447-5713

Dirección: Lima, Perú

Depósito legal: 2004 5922

Arbitrada

Publicación semestral

Distribución Gratuita

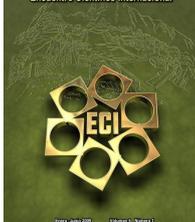
REVISTA DE EDICIÓN VIRTUAL

<http://www.cienciaperu.org>



La revista no se solidariza con las opiniones de los autores. Prohíbida la reproducción total o parcial sin la autorización del editor

ECIPERU  
Encuentro Científico Internacional



**Portada:** Imagen de fondo en bajo relieve representando la ciudadela Inca de Machupicchu elegida como una de las 7 maravillas del mundo moderno. Las exposiciones se desarrollaron en el Gran Teatro de la UNI, Universidad Tecnológica del Perú, centro de convenciones internacionales del INICTEL, Colegio de ingenieros del Perú, CIP consejo departamental de Lima.

## CONTENIDO

### Temas originales

- 1 THE MOST COMPACT SCISSION CONFIGURATION OF FRAGMENTS FROM LOW ENERGY FISSION OF 234U AND 236U. Modesto Montoya Zavaleta
- 5 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA CORROSIÓN DE PARES GALVÁNICOS DE AMALGAMAS DE PLATA CON ALEACIONES DENTALES Ni-Cr EN SALIVA ARTIFICIAL USANDO EL MÉTODO DE EVANS Y LAS FÓRMULAS DE MANSFELD. Elvar Quezada Castillo
- 13 CARACTERES EPIDÉRMICOS FOLIARES DE PLANTAS ORNAMENTALES, TÓXICAS PARA ANIMALES DOMÉSTICOS. Patricia Nasca de Zamora
- 19 EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL NONI (*Morinda citrifolia* L.) EN TRES ESTADOS DE MADUREZ EN TINGO MARIA. Joel P. Sullón Vargas
- 23 TETRAHIDROTIOFENO: UN LIGANDO POCO CONOCIDO. R. Flores-Centurión
- 27 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD PLASMÁTICA EN CONEJOS INDUCIDOS A UNA DIABETES ALOXÁNICA. Gonzales Medrano, M. Fernando
- 31 EXPERIMENTO DE LIBERACIÓN ISOTÓPICA MARCADA (LR) Y LA BÚSQUEDA DE VIDA EN MARTE. Julio E. Valdivia-Silva
- 35 FIABILIDAD DE UN NUEVO SISTEMA PARA LA DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL COLOR DENTAL UTILIZANDO IMAGENOLOGÍA DIGITAL. Rony Christian Hidalgo-Lostaunau
- 41 FACTORES QUE CARACTERIZAN A LAS MADRES GESTANTES DEL INSTITUTO MATERNO PERINATAL, Y QUE INFLUYEN EN QUE TENGA UN BEBÉ CON BAJO PESO AL NACER. María Estela Ponce Aruneri
- 48 HUMEDALES DE LA YUNGA AMAZÓNICA EN LOS DEPARTAMENTOS HUANUCO Y SAN MARTÍN, PERÚ. Manuel Ñique Alvarez
- 53 VALORACION DEL BOSQUE SECO ALGARROBAL POR MEDIO DE UN PROGRAMA DE EDUCACION AMBIENTAL. Alfredo Augusto Alzamora Arévalo
- 57 INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN LA ASIGNATURA DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL. Salazar Zegarra, Sonia Mirtha
- 63 CRITERIO DE OPTIMIZACION POR COMPENSACION EN EL DISEÑO DE BOTELLAS CON SUPERFICIES LATERALES DE REVOLUCION USADOS POR EMPRESAS EN LA COMERCIALIZACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS. Lizandro B. Reyna-Zegarra
- 68 EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS, SENSORIALES Y MICROBIOLÓGICAS EN PÁPRIKA EN POLVO (*Capsicum annum* L.). Johnny Vargas R.
- 72 FACTORES ASOCIADOS A LA PARTICIPACIÓN LABORAL DE TRABAJADORES SECUNDARIOS DE LOS HOGARES DEL DISTRITO DE GUADALUPE. Carlos Sánchez
- 77 ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO DE UNA NEURONA ARTIFICIAL PERCEPTRON PARA RECONOCIMIENTO DE CARACTERES, APLICANDO PRINCIPIOS HEURISTICOS. Mario G. Borja-Borja
- 81 IDENTIFICACIÓN DE LA RESPUESTA DE ESTRUCTURAS CON AISLAMIENTO DE BASE DURANTE TERREMOTOS DE GRAN MAGNITUD O. A. Z. Sotomayor, C. A. V. Cardoso y J. F. Tisza C

# THE MOST COMPACT SCISSION CONFIGURATION OF FRAGMENTS FROM LOW ENERGY FISSION OF $^{234}\text{U}$ AND $^{236}\text{U}$

Modesto Montoya Zavaleta<sup>a, b</sup>

## ABSTRACT

Using a time of flight technique, the maximal values of kinetic energy as a function of primary mass of fragments from low energy fission of  $^{234}\text{U}$  and  $^{236}\text{U}$  were measured by Signarbieux *et al.* From calculations of scission configurations, one can conclude that, for those two fissioning systems, the maximal value of total kinetic energy corresponding to fragmentations ( $_{42}\text{Mo}_{62}$ ,  $_{50}\text{Sn}_{80}$ ) and ( $_{42}\text{Mo}_{64}$ ,  $_{50}\text{Sn}_{80}$ ) respectively, are equal to the available energies, and their scission configurations are composed by a spherical heavy fragment and a prolate light fragment both in their ground state.

**Keywords:** Low energy fission;  $^{234}\text{U}$ ;  $^{236}\text{U}$ ; fragment kinetic energy; cold fission

## RESUMEN

Usando una técnica de tiempo de vuelo, Signarbieux *et al.* midieron el valor máximo de la energía cinética total en función de la masa primaria de los fragmentos de la fisión de baja energía de  $^{234}\text{U}$  y  $^{236}\text{U}$ . De los cálculos de las configuraciones de escisión, puede concluirse que, para esos dos sistemas físis, el valor máximo de la energía cinética corresponde a las fragmentaciones ( $_{42}\text{Mo}_{62}$ ,  $_{50}\text{Sn}_{80}$  y  $_{42}\text{Mo}_{64}$ ,  $_{50}\text{Sn}_{80}$ ), respectivamente, son iguales a los valores disponibles de energía, y sus configuraciones de escisión están compuestas por un fragmento pesado esférico y un fragmento liviano prolato, ambos en sus estados fundamentales.

**PALABRAS CLAVE:** Fisión a baja energía;  $^{234}\text{U}$ ;  $^{236}\text{U}$ ; energía cinética de fragmentos; fisión fría

## INTRODUCTION

Since the discovery of the neutron-induced fission, this process was described by collective variables (deformation, vibration, rotation, etc.) and intrinsic variables (quasi-particles excitations). Nevertheless, the dynamic of fission process are not yet completely understood. In particular, it is neither known the nature of the coupling between the collective and intrinsic degrees of the freedom during the descend from the saddle to scission, nor known how it does arise.

## THE MOST COMPACT SCISSION CONFIGURATIONS

In the process of thermal neutron induced fission of  $^{233}\text{U}$ , a composed nucleus  $^{234}\text{U}$  with excitation energy equal to neutron separation energy ( $B_n$ ) is formed first. Then, this nucleus splits in two complementary light and heavy fragments having  $A_L$  and  $A_H$  as mass numbers, and  $E_L$  and  $E_H$  as kinetic energies, respectively.

The Q-value of the this reaction is given by the relation

$$Q(Z_L, A_L, Z_H, A_H) = M(92, 234) - M(Z_L, A_L) - M(Z_H, A_H), \quad (1)$$

where  $M(Z, A)$  is the mass of nucleus with  $Z$  and  $A$  as proton number and mass number, respectively.

This available energy at scission configuration is spend in pre-scission total kinetic energy ( $TKE_0$ ), fragments interaction Coulomb energy ( $CE$ ) and total fragments deformation energy,

$$TDE = DE_L + DE_H \quad (2)$$

where  $DE_L$  and  $DE_H$  are the light and heavy fragment deformation energy, respectively, and in fragments intrinsic excitation energy,

$$TXE = XE_L + XE_H \quad (3)$$

where  $XE_L$  and  $XE_H$  are the light and heavy fragment intrinsic excitation energy, respectively.

Then the balance energy at scission configuration results

$$Q + B_n = TKE_0 + CE + TDE + DXE \quad (4)$$

where  $B_n$  is the neutron separation energy from the composed nucleus after the neutron is absorbed.

If there is no neutron emission, the light and heavy fragments reach the detectors with their primary kinetic energies equal to  $KE_L$  and  $KE_H$ , respectively. The total primary fragments kinetic energy will be

$$TKE = KE_L + KE_H = TKE_0 + CE = Q + \varepsilon_n - TDE - TXE \quad (5)$$

The maximal value of total kinetic energy is reached when the sum of  $TDE$  and  $TDX$  is minimal, i.e.

$$TKE_{\max} = (TKE_0 + CE)_{\max} = Q + B_n - (TDE - TXE)_{\min}. \quad (6)$$

The most compact scission configuration occurs when maximal value of coulomb energy is equal to the available energy, i.e.

$$CE_{\max} = Q + B_n. \quad (7)$$

<sup>a</sup>Instituto Peruano de Energía Nuclear, Avda. Canadá 1470, San Borja, Lima, Perú and

<sup>b</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería, Av. Túpac Amaru, 210, Apartado 31-139, Lima, Perú

In this case, from Eq. 5 one obtains the relations

$$TKE_{\max} = CE_{\max} = Q + B_n \quad (8)$$

and

$$DE_{\min} = 0, DX_{\min} = 0 \text{ and } TKE_0 = 0. \quad (9)$$

Not always this situation is possible to occur. Nevertheless we can assume that for each mass fragmentation the maximal value of total kinetic energy is obtained for similar condition, i.e.  $TKE_0 = 0$ ,  $TXE = 0$  and  $TDE = TDE_{\min}$ .

In what follows, we shall assume that the total kinetic energy distribution of the fission fragments can be approximated by a Gaussian distribution [9]

### DEFORMATION ENERGY

The total energy of a nucleus is calculated at first approximation by a liquid drop model type ( $\tilde{W}$ ), using the mass formula of Myers and Swiatecki [6]. The shell correction ( $\delta U$ ) is calculated by the Strutinsky's method [7], using Nilsson Hamiltonian [8]:

$$V_{corr} = -\kappa \langle \hat{l} \cdot \hat{s} + \mu (\hat{l}^2 - \langle \hat{l}^2 \rangle_N) \rangle \quad (10)$$

where  $\kappa$  and  $\mu$  are the Nilsson's constants.

The pairing correction is calculated using the BCS method [9].

Then, the relation for the total energy of the nucleus ( $Z, N$ ) results:

$$DE(Z, N, D) = \tilde{W}(Z, N, D) - \tilde{W}_s(Z, N) + \delta U_N + \delta U_Z + \delta P_N + \delta P_Z \quad (11)$$

where  $\tilde{W}(Z, N, D)$  is the energy of a nucleus ( $Z, N$ ) having deformation  $D$ , and  $\tilde{W}_s(Z, N)$  the energy in its spherical shape.

The constant of the harmonic oscillator was the suggested by Nilsson [5]:

$$\hbar\omega_0 = 41A^{1/3}. \quad (12)$$

As one said, the total fragments kinetic energy is close to the available energy for light and heavy complementary fragments with masses around  $A = 104$  and  $A = 132$ , respectively. Let us relate this result to the deformation for nuclei in this mass neighborhood.

The energies of nuclei  $^{106-108}\text{Mo}$  and  $^{106-108}\text{Tc}$  as a function of their corresponding deformations ( $\varepsilon$ ) are presented on Figs. 1 and 2, respectively. The assumed Nilsson's constants [5] for these nuclei are

$$\kappa_N = 0.678, \kappa_P = 0.07, \mu_N = 0.33 \text{ and } \mu_P = 0.35.$$

As we can see, those nuclei have a prolate shape with to  $\varepsilon = 0.3$  in their ground state. If the fragment deformation changes from  $\varepsilon = 0$  to  $\varepsilon = 0.3$  the deformation energy will decrease by around 2 MeV, while a change from  $\varepsilon = 0.3$  to  $\varepsilon = 0.4$  increases of deformation energy by 4 MeV. This result suggests that these nuclei are prolate and soft between  $\varepsilon = 0$  to  $\varepsilon = 0.3$  and became stiff for higher prolate deformations.

The energy as a function of deformation for nuclei  $^{130-132}\text{Sn}$  are presented on Fig.3. The assumed Nilsson's constants for these nuclei are

$$\kappa_N = 0.635, \kappa_P = 0.067, \mu_N = 0.43 \text{ and } \mu_P = 0.54.$$

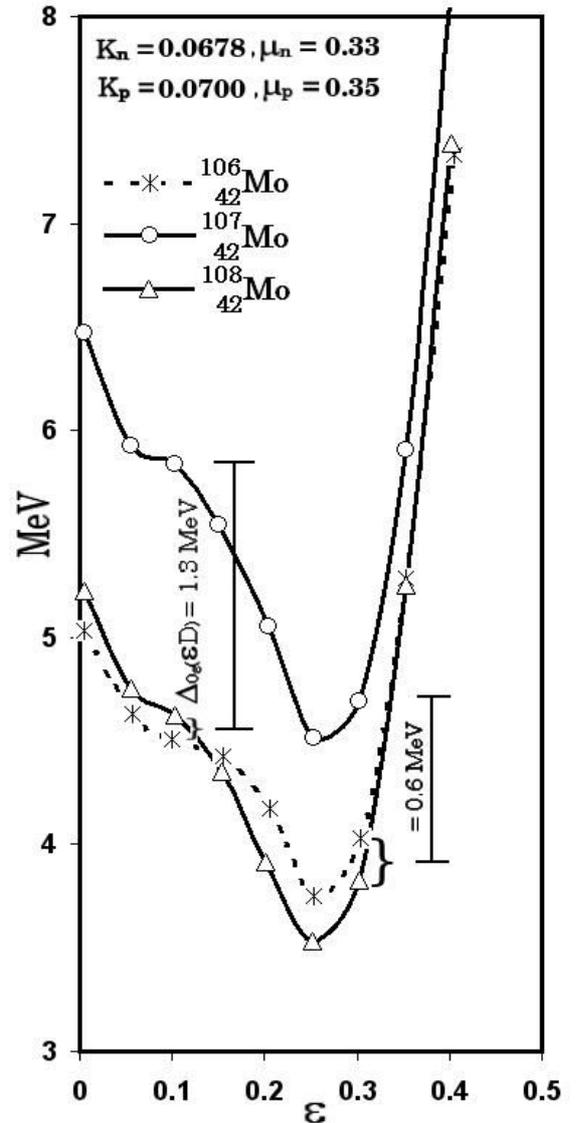


Fig. 1. Deformation energy for nuclei  $^{106-108}\text{Mo}$  calculated by a drop liquid model with pairing and shell correction [6]. See text.

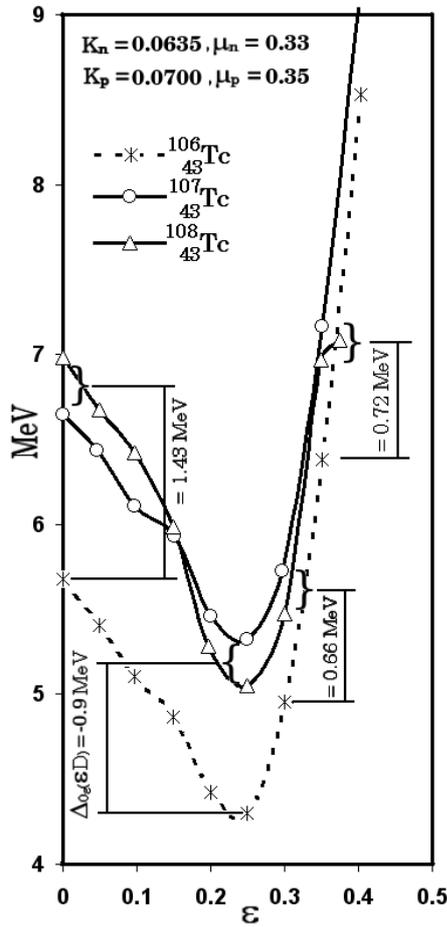


Fig. 2. Deformation energy for nuclei  $^{106-108}\text{Tc}$  calculated by a drop liquid model with pairing and shell correction [6].

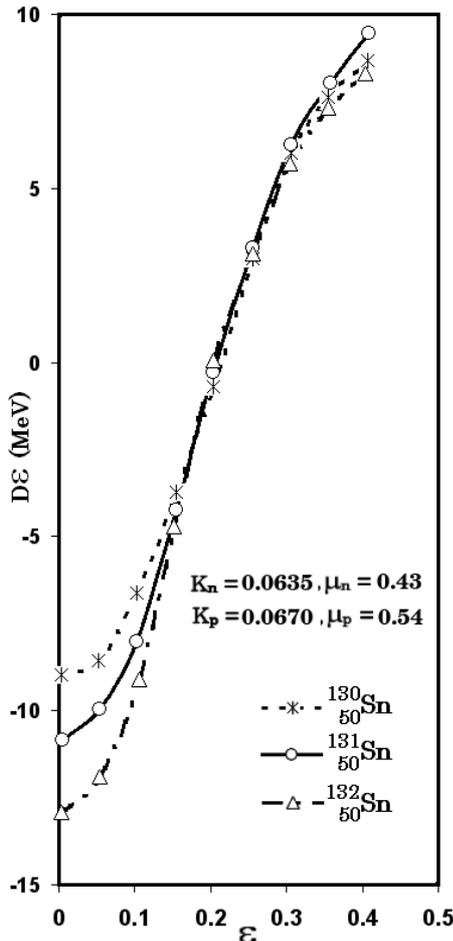


Fig. 3: Deformation energy for nuclei  $^{130-132}\text{Sn}$  calculated by a drop liquid model with pairing and shell correction [3]. See text.

One can see that  $^{130}\text{Sn}$  is softer than  $^{132}\text{Sn}$ . For a deformation from  $\varepsilon = 0$  to  $\varepsilon = 0.2$ , the nucleus  $^{130}\text{Sn}$  spends around 5 MeV while the nucleus  $^{132}\text{Sn}$ , for the same deformation, spends 10 MeV. The neutron number  $N = 82$  and proton numbers around  $Z = 50$  correspond to spherical hard nuclei.

The above characteristics of light fragments, corresponding to masses from  $A = 100$  to  $A = 106$ , and their complementary fragments, corresponding to mass from  $A = 130$  to  $A = 132$ , makes possible that their maximal values of the total kinetic energy of complementary fragments  $TKE$  are close to the available energy.

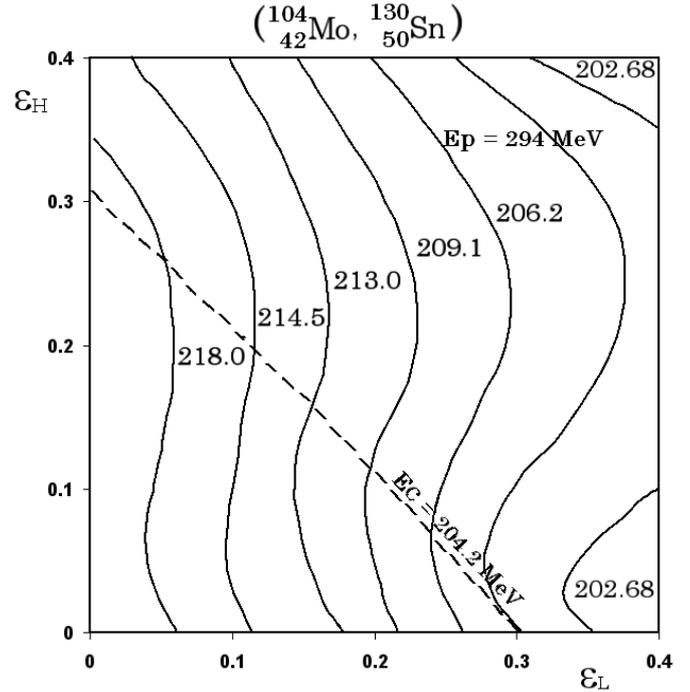


Fig. 4. Equipotential curves for scission configuration of fragments  $_{42}\text{Mo}_{62}$ ,  $_{50}\text{Sn}_{80}$  as a function of their deformation.  $\varepsilon_L$  and  $\varepsilon_H$  are the light and heavy fragment deformation.

For the case of  $^{233}\text{U}(n_{th}, f)$ , the total kinetic energy of the couple  $_{42}\text{Mo}_{62}$ ,  $_{50}\text{Sn}_{80}$  is almost equal to the available energy. This result means that the corresponding scission configuration is composed by fragments in their ground state. On the Fig. 4 we can see the several equipotential energy of the scission configuration composed by those fragments given by the relation

$$V = CE + DE_H + DE_L \quad (13)$$

where  $\varepsilon_H$  and  $\varepsilon_L$  are the heavy and light fragment deformation energy, respectively, calculated using the Nilsson model [5] and  $CE$  is the interaction Coulomb energy between the two fragments separated by 2 fm. On this curve one obtains that for  $\varepsilon_H = 0$  and  $\varepsilon_L = 0.3$  the Coulomb energy is equal to the available energy to 204 MeV.

The results are similar to complementary fragments corresponding to the deformed transitional nuclei with  $A_L$  between 100 and 106 ( $N$  between 60 y 64) and to the spherical nuclei with  $A_H$  around 132 ( $Z = 50$  and  $N = 82$ ).

For the complementary fragments  ${}_{42}\text{Mo}_{62}$  and  ${}_{50}\text{Sn}_{80}$ , the maximal value of CE corresponds to ground state nuclei or close to that. This case is unique. Other configurations will need deformation energy, which will be higher for the harder nuclei. On the Fig. 3 is presented the deformation energy for the spherical nuclei  ${}^{130}\text{Se}$ ,  ${}^{131}\text{Se}$  and  ${}^{132}\text{Se}$ , respectively. We can see that the double magic nucleus  ${}^{132}\text{Se}$  need 2 MeV more than  ${}^{130}\text{Se}$  for going from the spherical state  $\varepsilon = 0$  to the slightly deformed  $\varepsilon = 0.05$ . The fact that  ${}^{132}\text{Se}$  is no so hard as  ${}^{132}\text{Se}$  explain which the highest values of Coulomb interaction energy correspond to values close to the available energy for  ${}^{233}\text{U}(n_{\text{th}},f)$  as well as for  ${}^{235}\text{U}(n_{\text{th}},f)$ .

## CONCLUSION

From calculations of scission configurations from thermal neutron induced fission of  ${}^{233}\text{U}$  and  ${}^{235}\text{U}$ , one can conclude that the highest value of Coulomb interaction energy between complementary fragments correspond to fragmentations  $({}_{42}\text{Mo}_{62}, {}_{50}\text{Sn}_{80})$  and  $({}_{42}\text{Mo}_{64}, {}_{50}\text{Sn}_{80})$ , respectively. For both cases the calculated maximal value of Coulomb interaction energy are equal to the available energy of the reaction for spherical ( $\varepsilon_H = 0$ ) heavy fragments and prolate ( $\varepsilon_L = 0.3$ ) complementary light fragments, which correspond to their ground states. Moreover the light fragments are soft between  $\varepsilon_L = 0$  and  $\varepsilon = 0.3$  and harder if they go to more prolate shapes; while the heavy fragment  ${}_{50}\text{Sn}_{80}$  is no as hard as  ${}_{50}\text{Sn}_{82}$ . The calculated maximal value of Coulomb interaction energy is equal to the measured maximal value of total kinetic energy of fragments. The pre-scission kinetic energy and intrinsic excitation energy of fragments are assumed to be null. These results suggest that fission process take time to explore all energetically permitted scission configurations.

## REFERENCES

- [1]. P. Möller, D. G. Madland, A. J. Sierk, A. Iwamoto, Nature **409**(2001)785.
- [2]. F. Dickmann and K. Dietrich, Nucl. Phys. **A129**(1969)241.
- [3]. B. D. Wilkins, E. P. Steinberg and R. R. Chasman, Phys. Rev. **C14**(1976)1832.
- [4]. C. Signarbieux, M. Montoya, M. Ribrag, C. Mazur, C. Guet, P. Perrin and M. Maurel, J. Phys. Lett. (Paris), **42**(1976)L-437 - L-440.
- [5]. C. G. Nilsson, Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk **29** (1955) n.16.
- [6]. W. D. Myers and W. S. Swiatecky, Nucl. Phys. **81**(1966)1.
- [7]. The simulated final mass yield curve  $Y(m)$  and the primary mass yield curve

# EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA CORROSIÓN DE PARES GALVÁNICOS DE AMALGAMAS DE PLATA CON ALEACIONES DENTALES Ni-Cr EN SALIVA ARTIFICIAL USANDO EL MÉTODO DE EVANS Y LAS FÓRMULAS DE MANSFELD

## EVALUATION OF THE SUSCEPTIBILITY TO CORROSION OF GALVANIC PAIRS OF AMALGAMS OF SILVER WITH DENTAL ALLOYS OF NI-CR IN ARTIFICIAL SALIVA USING THE METHOD OF EVANS AND THE FORMULAS OF MANSFELD

Elvar Quezada Castillo<sup>a</sup>, Bertha Quezada Alván<sup>b</sup>

### RESUMEN

La corrosión galvánica es un proceso de disolución metálica que se produce cuando dos metales de distinto potencial electroquímico se sumergen en un electrolito, originando corrientes eléctricas entre los metales a través del medio conductor. En la restauración de piezas dentales perdidas o deterioradas se usan frecuentemente diferentes aleaciones, quedando la boca expuesta a corrientes eléctricas que circulan a través de la saliva y los fluidos dentarios. En el presente trabajo se utilizaron el método de Evans y las fórmulas de corrección de Mansfeld para evaluar la susceptibilidad a la corrosión de pares galvánicos de amalgamas de plata con aleaciones dentales Ni-Cr en saliva artificial, encontrándose que los más resistentes son los pares formados entre amalgamas de plata de alto cobre con aleaciones Ni-Cr que contienen berilio, y que los productos de corrosión liberados en mayor cantidad al medio electrolítico contienen iones de Hg, Ag, Ni y Cr.

**Palabras clave:** Aleaciones, amalgamas, corrosión, pares galvánicos, saliva artificial, polarización.

### ABSTRACT

Galvanic corrosion is a process of metallic dissolution that takes place when two metals of different electrochemical potential are submerged in an electrolyte, so originating electrical current between metals through conductor environment. For restoration of lost or deteriorated dental pieces different alloys are used frequently, then mouth is exposed to electrical currents that circulate through the saliva and dental fluids. In the present work the method of Evans and the formulas of correction of Mansfeld were used to evaluate the susceptibility to corrosion of galvanic pairs of amalgams of silver of high copper with Ni-Cr alloys that contain beryllium, and that products of corrosion released in greater amount to electrolytic environment contain ions of Hg, Ag, Ni and Cr.

**Keywords:** Alloys, amalgams, corrosion, galvanic pairs, artificial saliva, polarization.

### INTRODUCCIÓN

En el mercado nacional e internacional existe una gran variedad de aleaciones dentales. Las más tradicionales son las aleaciones nobles que contienen no menos del 75% de oro y metales del grupo del platino. No sufren deterioro de sus propiedades ni pierden su aspecto estético, el inconveniente es su alto costo. Para sustituirlas aparecieron las aleaciones de metales no preciosos como las de base cobalto, cromo, níquel y titanio. En los países latinoamericanos su uso es frecuente por su bajo costo y últimamente, las aleaciones base cobre tienen gran aceptación en los sectores de menores recursos [1,2].

En la restauración de piezas dentales frecuentemente se usan diferentes aleaciones metálicas, dando lugar al galvanismo oral que ha sido materia de discusión desde hace más de 150 años. Desde el punto de vista electroquímico pueden ocurrir fundamentalmente cuatro combinaciones de metales disímiles: 1) metales que no entran en contacto directo con otros metales; 2) metales en contacto permanente, o restauraciones adyacentes, o un metal sobre otro; 3) metales en contacto intermitente

como ocurre en dientes restaurados en oposición; 4) dos o más metales juntos en una restauración compleja o aparato ortodóncico [3].

En los últimos 40 años varios investigadores publicaron muchos artículos relacionados con la combinación "clásica" de oro y amalgamas entre los que figuran Fusayama, Fraunhofer y Holland [4-7]. En Suecia en 1985 Moberg, Ravnhot, Arvidson y Johansson publicaron sus experiencias sobre pares galvánicos de amalgamas y oro así como níquel-cromo y cobalto-cromo usando métodos de inmersión. Kumer y Rose en 1983

estudiaron las cuplas de titanio y Co-Cr reportando que las aleaciones de cobalto-cromo no deben usarse en implantes ortopédicos con aceros inoxidable pero si con aleaciones de titanio [8]. Más tarde Lin, Lo y Ju en China [9,10] estudiaron la biocorrosión de titanio y níquel en solución fisiológica de Hank para determinar su resistencia a la corrosión y usarlo en implantes orales.

El empleo indiscriminado de estas aleaciones sin que exista un estudio serio sobre sus propiedades electroquímicas ni normas que regulen su utilización en los países latinoamericanos nos obliga a implementar y

<sup>a</sup> Depto. Acad. de Física. Univ. Nac. de Trujillo

<sup>b</sup> Dpto. Acad. de Ciencias. Univ. Privada Antenor Orrego

difundir técnicas adecuadas para calificar las aleaciones existentes en el mercado nacional e internacional. Por esta razón, en el presente trabajo usamos el método de Evans y las fórmulas de corrección de Mansfeld para evaluar la susceptibilidad a la corrosión de pares galvánicos de aleaciones dentales Ni-Cr con amalgamas de plata de alto y bajo cobre en saliva artificial, y con EDAX determinamos los productos de corrosión de las cuplas galvánicas.

## TÉCNICA EXPERIMENTAL

### 1. Materiales

Se usaron dos amalgamas de plata y seis aleaciones dentales Ni-Cr cuya composición química se muestra en la tabla 1.

### 2. Preparación de probetas

- Las probetas de Ni-Cr fueron preparadas por el método de la cera perdida con una llama de oxígeno - butano - propano y sometidas a un proceso de centrifugación; estas fueron láminas de 1 cm<sup>2</sup> de superficie por 0,2 cm de espesor.
- Las probetas de amalgamas de plata de bajo y alto cobre (Standalloy y Duralloy) fueron trituradas y condensadas según las instrucciones sugeridas por los fabricantes [11] en forma de cilindros de 0,5 cm de alto por 0,8 cm de diámetro.

Tabla 1. Composición química de amalgamas y aleaciones dentales Ni-Cr en % de masa.

Material	Nombre comercial	Código	Composición química (% m/m)
Amalgama de plata de bajo Cu	Standalloy F	1	Ag 71 - Sn 25,7 - Cu 3,3
Amalgama de plata de alto Cu	Duralloy S	2	Ag 45 - Sn 31 - Cu 24
Aleaciones Ni - Cr	VeraBond	3	Ni 77,9 - Cr 12,5 - Mo 5 Al 2,9 - Be 1,95
	VeraBond 2	4	Ni 77 - Cr 12,6 - Mo 4,25 Nb 4 - Al 2,25
	VeraBond V	5	Ni 74,8 - Cr 12,7 - Mo 9 - Al 2 - Be 1,9 - Co 0,4
	VeraBond 2V	6	Ni 71,8 - Cr 12,8 - Mo 9 - Nb 4 - Al 2,5 - Si 0,5
	Remanio RW	7	Ni 86 - Cr 11 - Mo 2,5 - Si 0,5
	Litecast	8	Ni 77 - Cr 13,5 - Mo 7 Be 1,9 - Si 0,5

### 3. Métodos electroquímicos

En éste trabajo, para predecir la susceptibilidad a la corrosión de pares galvánicos en saliva artificial se realizaron medidas de potencial y se determinaron curvas de polarización de las aleaciones en estudio:

- Medidas de Potencial.- El potencial de electrodo de cada aleación se midió frente a un electrodo de calomel saturado en una celda de tres electrodos con un potenciostato *Princeton Applied Reserch modelo 173* en saliva artificial aireada a 25 °C. Las medidas se realizaron por quintuplicado con probetas diferentes de cada aleación, dejando previamente estabilizar el potencial durante una hora en la solución.

- Curvas de polarización.- Las curvas de polarización en saliva artificial se trazaron por triplicado usando la misma celda y el mismo potenciostato que el empleado para medir el potencial de electrodo. El electrodo de referencia también fue de calomel saturado y el contraelectrodo de platino. La velocidad de barrido fue de 12 mV/min controlado con un *Programador Universal PAR 175* y el registro de las curvas se realizó con un graficador *XT PAR modelo REO 151*. Pevio al inicio de las curvas se midió el potencial de corrosión de la misma manera que en el apartado anterior. Las curvas anódicas y catódicas de cada aleación se trazaron por separado con probetas diferentes partiendo del potencial de electrodo.

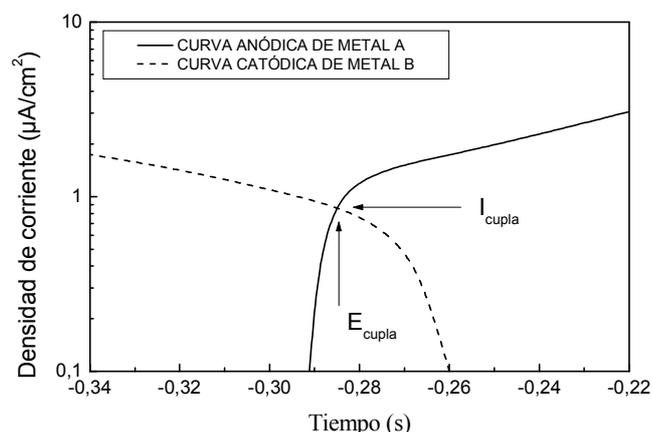


Figura 1. Superposición de curva catódica de aleación noble con curva anódica de metal activo.

- Potenciales de corrosión de pares galvánicos.- Las aleaciones dentales se corroen en el medio ambiente oral por acción de la saliva y los fluidos "óseos", de modo que al acoplarse eléctricamente ambas son polarizadas y se corroen a una nueva velocidad. La Fig.1 muestra la superposición de la curva anódica de la aleación más activa o menos noble (metal A) y de la curva catódica del metal más noble (metal B). Cuando los metales A y B se acoplan, el potencial mixto de la cupla galvánica,  $E_{cupla}$  ( $V_{corr.PG}$ ) se encuentra en la intersección de las curvas de polarización donde la velocidad de oxidación total es igual a la velocidad de reducción total y la densidad de corriente de polarización es  $I_{cupla}$  ( $I_{corr.PG}$ ) [12,13]; este proceso que permite determinar el potencial y la densidad de corriente de la cupla se denomina *método de Evans*.

### 4. Microanálisis de productos de corrosión

Los productos de corrosión se analizaron por el *Métodos de Espectro Dispersivo de Energía por Rayos X (Energy Dispersive Spectroscopy X-Ray, EDSX)*, consistente en analizar los Rayos X característicos emitidos por una muestra alcanzada por un haz de electrones de alta energía procedente de un microscopio electrónico de barrido, permitiendo la identificación de los elementos que componen dicha muestra a través de un analizador multicanal. En este trabajo, se utilizó un microscopio electrónico de barrido Philips SEM 500, del Laboratorio de Microscopía Electrónica del Departamento de Materiales de CNEA, al cual se encuentra adosado un detector dispersivo en energía de rayos X, EDAX DX4, y cuyo límite de detección es aproximadamente 1 micrón cúbico.

Tabla 2. Composición química de la saliva experimental [14].

Componente	Concentración (g/l)
NaCl	0,600
KCl	0,720
CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,220
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,680
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12H <sub>2</sub> O	0,856
KSCN	0,060
KHCO <sub>3</sub>	1,500
H <sub>8</sub> C <sub>6</sub> O <sub>7</sub>	0,030

## 5. Electrolito

El electrolito usado en los ensayos potenciodinámicos fue una saliva experimental [14], que reproduce el comportamiento electroquímico de la saliva natural, y cuya fórmula se muestra en la tabla 2. El electrolito fue preparado con agua deionizada de 18,20 MΩ·cm de resistividad eléctrica y con reactivos de grado analítico.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Serie electroquímica

En la tabla 3 se muestran los potenciales de corrosión a circuito abierto de las aleaciones en estudio ordenadas de acuerdo a su resistencia a la corrosión, formando una serie electroquímica en saliva artificial aireada. También se muestra la desviación estándar promedio calculada de acuerdo a la norma G:16-95 ASTM.

La aleación dental más activa es la amalgama de plata de bajo cobre (Standalloy) cuyo potencial de corrosión es -0,381 V<sub>ecs</sub>, debido probablemente al bajo contenido de Cu (3,3 %). Esta aleación siempre será ánodo cuando forme pares galvánicos con cualquiera de las aleaciones dentales consideradas en este trabajo. La amalgama de alto cobre (Duralloy) ocupa un lugar intermedio, de tal manera que al formar pares galvánicos con las aleaciones en estudio actuará unas veces como ánodo y otras como cátodo, como veremos más adelante.

Las aleaciones Ni-Cr-Mo que contienen menores cantidades de Cr y Al son más susceptibles a la corrosión en saliva artificial como se muestra en la tabla 3. Por ejemplo, Remanio RW contiene 11% de Cr y 0 % de Al y un potencial de corrosión a circuito abierto de -0,267 V<sub>ecs</sub>, haciéndolo más susceptible a la corrosión que a las demás aleaciones Ni-Cr en estudio.

Tabla 3. Potenciales de Corrosión a circuito abierto de amalgamas de plata y aleaciones Ni-Cr en saliva artificial y desviaciones estándar.

Materiales	Nombre Comercial	Código	V <sub>corr</sub> (V <sub>ecs</sub> )	σ(V <sub>ecs</sub> )
Amalgama de bajo Cu	Standalloy F	1	-0,381	0,018

Aleación Ni-Cr	Remanio RW	7	-0,267	0,006
Amalgama de alto Cu	Duralloy S	2	-0,230	0,012
Aleaciones Ni-Cr	Litecast	8	-0,214	0,015
	VeraBon V	5	-0,209	0,007
	VeraBon 2V	6	-0,203	0,004
	VeraBond	3	-0,192	0,005
	VeraBond 2	4	-0,185	0,006

### 2. Curvas de polarización

Las curvas de polarización se determinaron en condiciones estáticas a temperatura ambiente (25 °C) y no a la temperatura bucal (37 °C), porque a esas temperaturas dichas curvas son semejantes.

La Fig.2 muestra las curvas de polarización anódica y catódica de las amalgamas de plata de bajo y alto cobre. La amalgama de bajo cobre (Standalloy F) tiene una zona pasiva que se extiende desde -0,380 V<sub>ecs</sub> hasta -0,100 V<sub>ecs</sub> y su potencial de ruptura es de -0,090 V<sub>ecs</sub>; a partir de este valor la densidad de corriente aumenta rápidamente debido a la disolución de la fase γ<sub>2</sub>, dealeado o picado de la aleación. La amalgama de alto cobre (Duralloy S) tiene una zona pasiva que se extiende desde -0,230 V<sub>ecs</sub> hasta 1,100 V<sub>ecs</sub> con una densidad de corriente promedio de 0,80 μA/cm<sup>2</sup>; a partir de 1,100 V<sub>ecs</sub> la densidad de corriente aumenta rápidamente debido al desprendimiento de oxígeno por la descomposición de la solución.

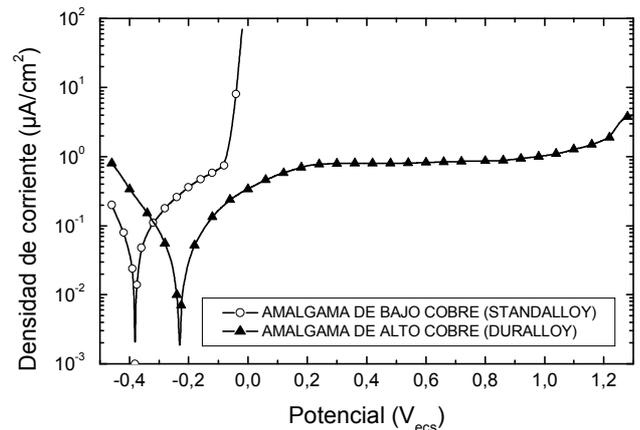


Figura 2. Curvas de polarización catódica y anódica de amalgamas de plata de alto y bajo cobre en saliva artificial.

Las Figs. 3 y 4 muestran las curvas de polarización de las aleaciones Ni-Cr. En la Fig. 3, se observa que la zona pasiva se extiende desde el potencial de corrosión hasta aproximadamente 0,130 V<sub>ecs</sub> para VeraBond, hasta 0,200 V<sub>ecs</sub> para VeraBond V y hasta 0,240 V<sub>ecs</sub> para Litecast, con una densidad de corriente de pasivación para las tres aleaciones de 0,76 μA/cm<sup>2</sup>. Los potenciales de ruptura de las aleaciones VeraBond, VeraBond V y Litecast son 0,140 V<sub>ecs</sub>, 0,220 V<sub>ecs</sub> y 0,250 V<sub>ecs</sub> respectivamente. En la Fig. 4 observamos que las aleaciones VeraBond 2, VeraBond 2V y Remanio tienen una zona pasiva más amplia que las aleaciones anteriores y se extiende desde su potencial de corrosión hasta aproximadamente 0,510 V<sub>ecs</sub> con una densidad de corriente de pasivación de 0,96 μA/cm<sup>2</sup>. En todos los casos, a potenciales superiores al potencial de ruptura las densidades de corriente

aumentan rápidamente debido a la disolución de la zona interdendrítica.

### 3. Potenciales y densidades de corriente de corrosión de cuplas galvánicas de aleaciones dentales

Los potenciales y densidades de corriente de corrosión instantáneas de las cuplas galvánicas entre diferentes materiales se obtienen usando el método de Evans descrito anteriormente. En éste caso, se superponen las curvas catódicas de las amalgamas de plata (Standalloy y Duralloy) con las curvas anódicas de las aleaciones Ni-Cr tal como se muestran en las Figs. 5 y 6. Los potenciales y densidades de corriente de corrosión de las cuplas galvánicas se presentan en las tablas 4 y 5, observándose que: 1) las más susceptibles a la corrosión son las cuplas formadas entre amalgamas de plata de bajo cobre con aleaciones Ni-Cr. 2) Las más resistentes a la corrosión son las cuplas formadas entre aleaciones Ni-Cr (que contienen berilio) y la amalgama de plata de alto cobre.

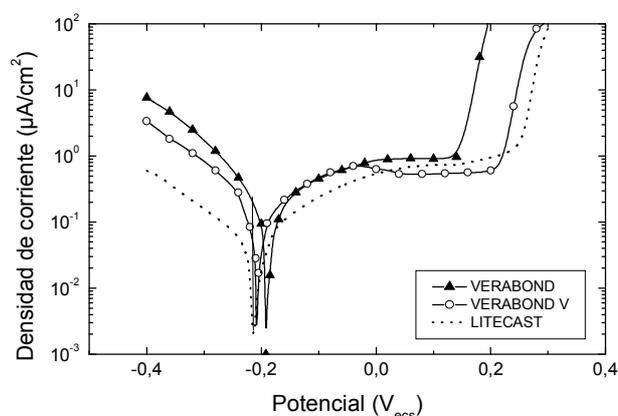


Figura 3. Curvas de polarización de aleaciones Ni-Cr que contienen Be en saliva artificial.

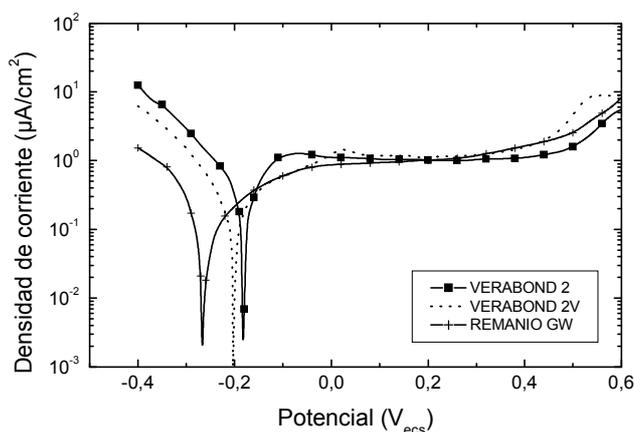


Figura 4. Curvas de polarización de aleaciones Ni-Cr en saliva artificial.

En la tabla 5 se observa también que las densidades de corriente de corrosión de los pares galvánicos de Duralloy con las aleaciones Ni-Cr en estudio, son menores que la densidad de corriente de la aleación que hace de ánodo, en este caso, Duralloy. O sea, viola la condición de la teoría de pares galvánicos que establece que la densidad de corriente de un par galvánico es mayor que la densidad de corriente del ánodo desacoplado. Esto conduciría a suponer erróneamente que el acoplamiento galvánico de estas

aleaciones aumenta la resistencia a la corrosión de las cuplas galvánicas en estudio.

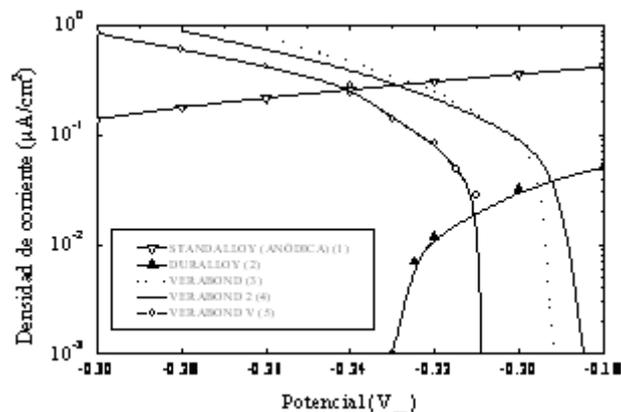


Figura 5. Superposición de curvas anódicas de amalgamas de plata con curvas catódicas de aleaciones Ni-Cr en saliva artificial.

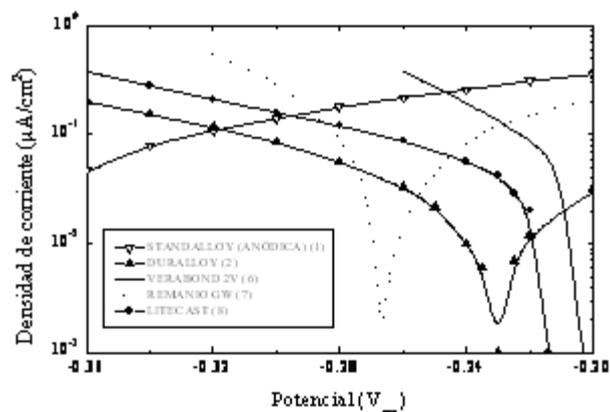


Figura 6. Superposición de curvas de polarización de amalgamas de plata con las correspondientes a las aleaciones Ni-Cr en saliva artificial.

Tabla 4. Densidades de corriente de corrosión de aleaciones dentales aisladas y potenciales y densidades de corriente de corrosión de las cuplas galvánicas de Standalloy con aleaciones dentales Ni-Cr por el método de Evans.

Aleación	$I_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Standalloy/Aleación Dental		
		Cupla	$V_{corr.PG}$ ( $V_{ecs}$ )	$I_{corr.PG}$ ( $\mu A/cm^2$ )
Standalloy F	0,083	Cupla		
Duralloy S	0,033	PG <sub>1,2</sub>	-0,318	0,111
VeraBond	0,235	PG <sub>1,3</sub>	-0,224	0,296
VeraBond 2	0,403	PG <sub>1,4</sub>	-0,228	0,279
VeraBond V	0,180	PG <sub>1,5</sub>	-0,240	0,252
VeraBond 2V	0,375	PG <sub>1,6</sub>	-0,246	0,240
Remanio RW	0,365	PG <sub>1,7</sub>	-0,288	0,168
Litecast	0,064	PG <sub>1,8</sub>	-0,295	0,146

### 4. Corrección de resultados de densidades de corrientes galvánicas por el método de Mansfeld.

En la década de los 70 del siglo pasado, Mansfeld [15-17], estudió sistemáticamente el comportamiento de los pares galvánicos y la aplicabilidad de la superposición de los diagramas de Evans para la determinación de las corrientes galvánicas, y llegó a la conclusión que deben diferenciarse tres casos distintos: 1) comportamiento de Tafel, 2) control difusional y 3) pequeñas rangos de polarización. En este trabajo nos ocuparemos solamente del último caso.

Para pequeños rangos de polarización, al acoplar el metal A al metal B (más noble que A) se produce solo un pequeño desplazamiento del potencial de corrosión del metal A. Por lo tanto, el potencial del par galvánico de los dos metales diferentes acoplados, está ubicado muy cerca del potencial de corrosión del ánodo no acoplado y no se presenta comportamiento del tipo Tafel; y tanto la reacción anódica como la catódica ocurren a una velocidad apreciable sobre el ánodo como se muestra en la Fig. 7.

Tabla 5. Potenciales y densidades de corriente de corrosión de cuplas galvánicas de Duralloy con aleaciones dentales Ni-Cr por el método de Evans.

Duralloy/Aleación Dental			
Aleación	Cupla	$V_{\text{corr.PG}}$ ( $V_{\text{ecs}}$ )	$I_{\text{corr.PG}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
Standalloy F	PG <sub>1,2</sub>	-0,318	0,111
VeraBond	PG <sub>2,3</sub>	-0,195	0,024
VeraBond 2	PG <sub>2,4</sub>	-0,192	0,037
VeraBond V	PG <sub>2,5</sub>	-0,210	0,018
VeraBond 2V	PG <sub>2,6</sub>	-0,210	0,021
Remanio RW	PG <sub>2,7</sub>	-0,255	0,028
Litecast	PG <sub>2,8</sub>	-0,219	0,011

Para pequeños rangos de polarización, al acoplar el metal A al metal B (más noble que A) se produce solo un pequeño desplazamiento del potencial de corrosión del metal A. Por lo tanto, el potencial del par galvánico de los dos metales diferentes acoplados, está ubicado muy cerca del potencial de corrosión del ánodo no acoplado y no se presenta comportamiento del tipo Tafel; y tanto la reacción anódica como la catódica ocurren a una velocidad apreciable sobre el ánodo como se muestra en la Fig. 7.

En este caso la corriente galvánica ( $I_{\text{corr.PG}}$ ) no es igual a la corriente de disolución del metal A. Esta última corriente es la suma de las corrientes catódicas sobre el ánodo ( $I_{A,c}$ ) y sobre el cátodo ( $I_{B,c}$ ):

$$I_{A,a} = I_{A,c} + I_{B,c}$$

mientras que la corriente galvánica es igual a la corriente catódica sobre el metal B:

$$I_{\text{corr.PG}} = I_{B,c} = I_{A,a} - I_{A,c}$$

de donde

$$I_{A,a} = I_{\text{corr.PG}} + I_{A,c} \quad (1)$$

La magnitud de la densidad de corriente del par galvánico ( $I_{\text{corr.PG}}$ ) se determina con los diagramas de Evans y la densidad de corriente catódica del ánodo A se calcula con la fórmula:

$$I_{A,c} = I_{\text{corr.A}} \exp\left(-\frac{(V_{\text{corr.PG}} - V_{\text{corr.A}})}{0,434 b_c}\right) \quad (2)$$

donde  $V_{\text{corr.PG}}$  es el potencial de corrosión de la cupla galvánica,  $V_{\text{corr.A}}$  y  $I_{\text{corr.A}}$  son el potencial de corrosión y la densidad de corriente de corrosión del ánodo desacoplado;  $b_c$  es la pendiente de Tafel catódica del material del ánodo (A).

El rango de polarización ( $V_{\text{corr.PG}} - V_{\text{corr.A}}$ ) de los pares galvánicos de las amalgamas de plata con aleaciones dentales no preciosas considerados en este trabajo es muy pequeño, menor a  $0,16 V_{\text{ecs}}$ , por lo que se usaron las fórmulas (1) y (2) para determinar la verdadera densidad de corriente de disolución del ánodo ( $I_{A,a}$ ) al potencial de corrosión del par galvánico. Ilustraremos el cálculo de  $I_{A,a}$  con un ejemplo:

Para el par galvánico PG<sub>1,7</sub> (Standalloy/ Remanio), la densidad de corriente galvánica (tabla 4) es:  $I_{\text{corr.PG}} (1,7) = 0,168 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  y la densidad de corriente  $I_{A,c}$  correspondiente al ánodo (amalgama Standalloy) se determina usando la fórmula (2) y los datos de las tablas 3 y 4:

$$I_{A,c} = I_{\text{corr.A}} \exp\left(-\frac{(V_{\text{corr.PG}} - V_{\text{corr.A}})}{0,434 b_c}\right)$$

$$I_{A,c} = (0,083 \mu\text{A}/\text{cm}^2) \exp\left(-\frac{-0,288 + 0,381}{0,434 \times 0,194}\right)$$

de donde

$$I_{A,c} = I_{1,c} = 0,027 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

La disolución del ánodo (Standalloy) al potencial de corrosión del par PG<sub>1,7</sub> se obtiene con la fórmula (1):

$$I_{A,a} = I_{\text{corr.PG}} + I_{A,c} = 0,195 \mu\text{A}/\text{cm}^2$$

De esta manera se determinaron los valores reales de disolución del ánodo de las cuplas galvánicas consideradas en este trabajo, los cuales se muestran en las tablas 6 y 7.

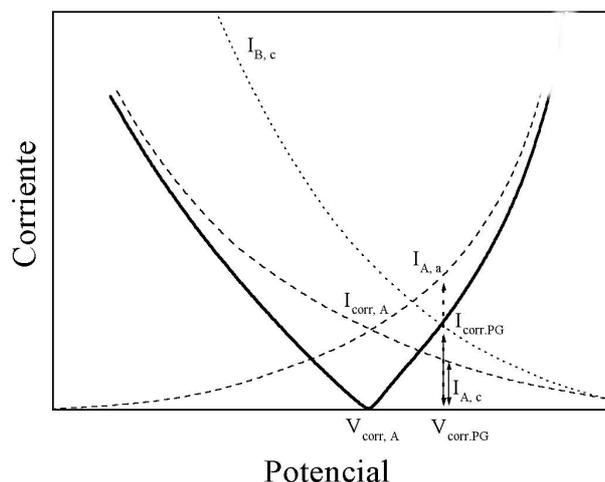


Figura 7. Superposición de curvas catódica y anódica de par galvánico mostrando que la densidad de corriente de disolución del ánodo ( $I_{A,a}$ ) es igual a la suma de  $I_{\text{corr.PG}}$  más  $I_{A,c}$  ( $I_{A,a} = I_{\text{corr.PG}} + I_{A,c}$ ).

Tabla 6. Densidades de corriente de corrosión de pares galvánicos de amalgama de plata de bajo cobre (Standalloy) con aleaciones Ni-Cr con las fórmulas de Mansfeld ( $I_{A,a}$ ).  $I_{\text{corr}}$  de Standalloy no acoplado =  $0,083 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  y  $b_c = 0,194 \text{ V}/\text{dec}$ . ( $I_{A,c}$  y  $I_{A,a}$  son las densidades de corriente catódica y anódica del ánodo).

Aleaciones	Cupla	$I_{A,c}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$I_{A,a}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) (Mansfeld)
Duralloy S	PG <sub>1,2</sub>	0,039	0,150
VeraBond	PG <sub>1,3</sub>	0,013	0,309
VeraBond 2	PG <sub>1,4</sub>	0,014	0,293
VeraBond V	PG <sub>1,5</sub>	0,015	0,267
VeraBond 2V	PG <sub>1,6</sub>	0,016	0,256
Remanio RW	PG <sub>1,7</sub>	0,027	0,195
Litecast	PG <sub>1,8</sub>	0,030	0,176

En la tabla 6, se observa que: 1) la densidad de corriente más baja de los pares galvánicos formado por la amalgama de bajo cobre (Standalloy) con las aleaciones dentales en estudio es 0,150  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , mayor que la densidad de corriente de corrosión de la amalgama desacoplada (0,083  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) que actúa como ánodo en todos los PG considerados en dicha tabla, en concordancia con la teoría de pares galvánicos que establece, como mencionamos antes, que la densidad de corriente del par galvánico ( $I_{\text{corr,PG}}$ ) debe ser mayor que la densidad de corriente ( $I_{\text{corr,A}}$ ) del ánodo desacoplado [16]. 2) Las densidades de corriente determinadas con las fórmulas de Mansfeld dan los verdaderos valores de disolución de la amalgama Standalloy con cada una de las aleaciones dentales con las que se acopló eléctricamente, y son mayores que los valores determinados con los diagramas de Evans.

Tabla 7. Densidades de corriente de corrosión de pares galvánicos de amalgama Duralloy con aleaciones dentales Ni-Cr con las fórmulas de Mansfeld ( $I_{A,a}$ ). (Pendientes de Tafel catódicas de Duralloy y Remanio 0,167 y 0,206 V/dec respectivamente).

Aleación	Cupla	$I_{A,c}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	$I_{A,a}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) (Mansfeld)
VeraBond	PG <sub>2,3</sub>	0,020	0,044
VeraBond 2	PG <sub>2,4</sub>	0,020	0,057
VeraBond V	PG <sub>2,5</sub>	0,025	0,043
VeraBond 2V	PG <sub>2,6</sub>	0,025	0,046
Remanio RW	PG <sub>2,7</sub>	0,320	0,348
Litecast	PG <sub>2,8</sub>	0,028	0,039

En forma análoga, en la tabla 7 observamos que: 1) las densidades de corriente de corrosión de los pares galvánicos en los que la amalgama de alto cobre (Duralloy) actúa como ánodo, evaluados con las fórmulas de Mansfeld son mayores que la densidad de corriente de corrosión de la amalgama desacoplada (0,033  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) de conformidad con el principio de PG mencionado en el numeral (1) del párrafo anterior. 2) La velocidad de disolución de las aleaciones que hacen de ánodo en las cuplas galvánicas en las que la amalgama Duralloy funciona como cátodo, se disuelven a mayor velocidad que la amalgama Duralloy.

## 5. Productos de corrosión

Los productos de corrosión y EDAX de algunos pares galvánicos de amalgamas de alto y bajo cobre con aleaciones dentales Ni-Cr se muestran en las Figs.8 a 13. Los espectros sobre las amalgamas de plata muestran picos elevados de Hg, Ag, Ca, Sn y picos más pequeños de P, Cl, Na, Cu. Sobre la superficie de las aleaciones Ni-Cr se observan grandes picos de Ni y Cr, y picos

pequeños de P, Cl, K, y S. Es de esperar que los compuestos que se formen sean óxidos e hidróxidos de estos elementos y fosfatos de níquel y cromo.

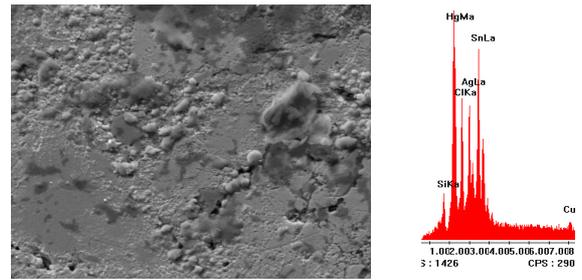


Figura 8. Micrografía de productos de corrosión y EDAX del par PG<sub>1,3</sub> (Standalloy/VeraBond) sobre Standalloy (144x).

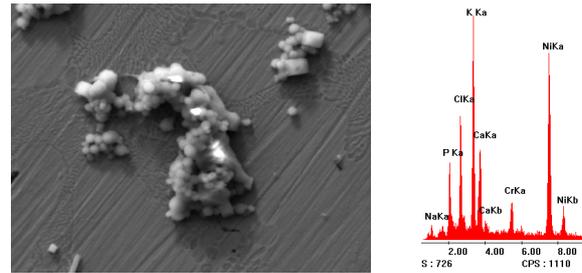


Figura 9. Micrografía de productos de corrosión y EDAX del par PG<sub>1,8</sub> (Standalloy/Litecast) sobre Litecast (1200x).

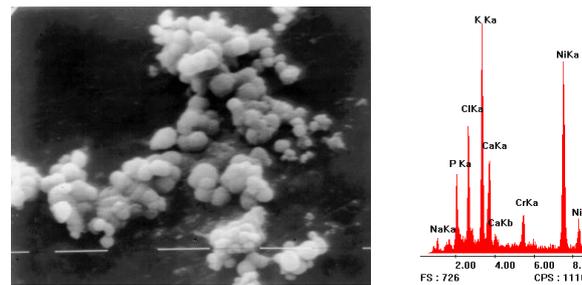


Figura 10. Micrografía de productos de corrosión y EDAX del par PG<sub>1,4</sub> (Standalloy/VeraBond 2) sobre VeraBond 2 (1280x).

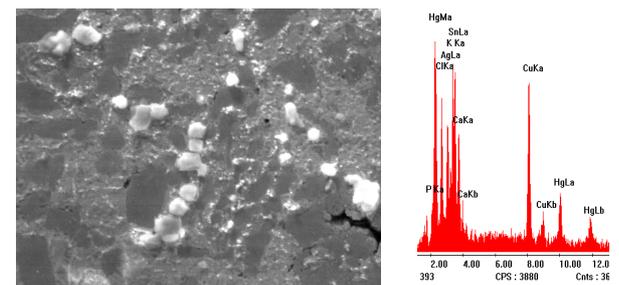


Figura 11. Micrografía de productos de corrosión y EDAX del par PG<sub>2,3</sub> (Duralloy/VeraBond) sobre Duralloy (1280x).

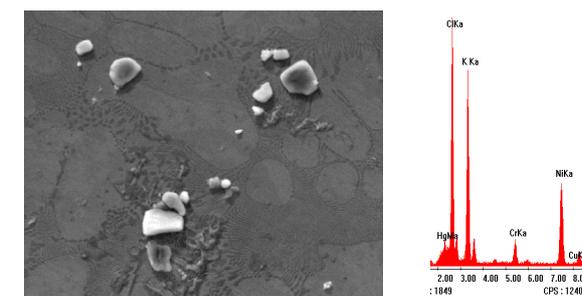


Figura 12. Micrografía de productos de corrosión y EDAX del par PG<sub>2,4</sub> (Duralloy/Litecast) sobre Litecast (1440x).

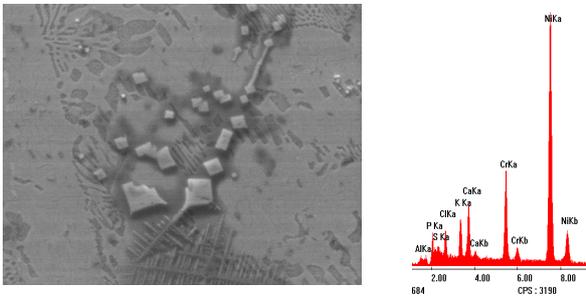


Figura 13. Micrografía de productos de corrosión y EDAX del par PG<sub>2,4</sub> (Duralloy/VeraBond) sobre VeraBond(1600x).

## 6. Toxicidad de productos de corrosión

Los iones de Hg, Ag, Ni y Cr liberados a la solución electrolítica formarán óxidos, hidróxidos, cloruros y fosfatos con estos elementos que son tóxicos para la salud humana.

El mercurio componente mayoritario de las amalgamas es un metal tóxico tanto en su forma elemental como en sus derivados orgánicos e inorgánicos. Como metal simple es poco soluble, y por lo tanto, poco tóxico cuando se ingiere. Sin embargo, el hecho de emitir vapores a cualquier temperatura lo hace muy peligroso. El mercurio es muy permeable a través de la membrana celular pudiendo pasar del tracto gastrointestinal a los pulmones y cerebro. Se ha encontrado "mercurio en los pelos, uñas y una alta concentración en la glándula pituitaria (aproximadamente 70 veces más alto que en los grupos de control) en personas que tienen amalgamas en la boca [18,19].

La plata es otro componente mayoritario de las amalgamas y produce pigmentación en las mucosas cuando su exposición es prolongada. Esta pigmentación se debe a la reducción del compuesto de plata en los tejidos dando un aspecto gris azulado. La pigmentación en la mucosa bucal se extiende por toda la cavidad. Los lechos linguales también se encuentran impregnados y el tatuaje por amalgama de plata en la mucosa bucal es frecuente en la práctica odontológica [20]

El níquel es un alergénico potencial, es la causa más común de dermatitis alérgica por contacto, esta presente en joyas y utensilios domésticos. Por lo tanto, puede considerarse un peligro para la salud pública incrementándose con el uso de restauraciones dentales. Los iones de Ni producen alergias e inflamaciones inespecíficas alrededor de las restauraciones que pueden adoptar reacciones liquenoides y a veces erosivas, siendo las mujeres más hipersensibles a este metal, probablemente porque desde temprana edad están en contacto con él Ni por las joyas y utensilios que usan [19,21,22].

El cromo es menos sensibilizante que el níquel. La sensibilización ocurre solamente a través de sales hexavalentes de cromo y el grado de exposición de los humanos es mucho menor que al níquel o al mercurio [19]. En su forma elemental no es tóxico, sin embargo, sus productos de oxidación (ácido crómico, cromatos, dicromatos) son altamente tóxicos debido a su acción cáustica. El tóxico se absorbe por vía digestiva, respiratoria y cutánea. Tiene una acción cáustica local

predominante, pero después de ser absorbido puede dar lugar a trastornos sistémicos. Tiene una gran afinidad por las proteínas orgánicas, con las que forman compuestos muy estables. Se elimina muy lentamente por la orina. Así mismo, tiene acción cancerígena sobre el pulmón y el aparato digestivo. Sin embargo, no hay evidencia que confirme que la alergia al cromo sea causada por prótesis dentales metálicas [19].

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este trabajo podemos concluir:

1. La serie electroquímica en saliva artificial aireada muestra que la amalgama de plata de bajo cobre (Standalloy) tiene el potencial de corrosión a circuito abierto más bajo de todas las aleaciones dentales consideradas en este trabajo, por lo que siempre actuará como ánodo en todos los pares galvánicos que forme con estas aleaciones.
2. La amalgama de plata de alto cobre (Duralloy) al formar pares galvánicos con las aleaciones Ni-Cr actuará, de acuerdo con los diagramas de Evans, como ánodo por tener su potencial de corrosión menos noble que estas aleaciones en saliva artificial aireada, excepto con Remanio RW.
3. Los resultados experimentales muestran que para pequeñas polarizaciones el método de Evans no siempre da buenos resultados para predecir la velocidad de disolución del componente anódico de los pares galvánicos por lo es necesario usar las fórmulas de corrección de Mansfeld.
4. Los pares galvánicos de aleaciones Ni-Cr con amalgamas de plata de bajo cobre (Standalloy) son más activos que los pares galvánicos formados entre estas aleaciones y amalgamas de plata de alto cobre (Duralloy), por lo que no se recomienda usar amalgamas de plata de bajo cobre.
5. De los pares galvánicos en estudio, los más resistentes a la corrosión son los pares formados entre la amalgama de plata de alto cobre (Duralloy) con aleaciones Ni-Cr que contienen berilio.
6. Los productos de corrosión de las cuplas galvánicas en estudio liberan en mayor cantidad iones de Hg, Ag, Ni y Cr por lo que estos pasan de la boca al tracto digestivo y a través del sistema circulatorio a diferentes partes del cuerpo.

## AGRADECIMIENTO

Al Laboratorio de Materiales de la Comisión Nacional de Energía Atómica de la República Argentina (Centro Atómico Constituyentes), por habernos permitido utilizar sus equipos en las secciones de Corrosión y Microscopía Electrónica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Riesgo O, Bianchi G, Duffó G. Susceptibilidad a la corrosión de aleaciones Cu-Al de uso dental. Congreso SAM 1991; Buenos Aires, Argentina.
- [2]. Riesgo O, Bianchi G, Duffó G. Susceptibilidad a la corrosión de bronce al aluminio para uso odontológico. Revista de Metalurgia 1992; 28(5):306-312.
- [3]. Marek JM. Corrosion of Dental Materials, in TREATISE ON MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY, Vol 23 Cap. 6. Edit J C Scully. Academic Press N.Y. (1993).
- [4]. Von Fraunhofer JA, Staheli PJ. Gold-amalgam galvanic cells. British Dental Journal 1972. May:357-362.
- [5]. Holland RI. Galvanic currents between gold and amalgam. Scand. J. Dent. Res. 1980; 88:269-272.
- [6]. Fusayama T, Katayori T, Nomoto S. Corrosion of gold and amalgam placed in contact with each other. J. Dent. Res. 1963;Vol. 42: 1183-1197 .
- [7]. Moberg L-E. Long-term corrosion studies in vitro of amalgams and casting alloys in contact. Acta Odontol Scand 1985; 43:163-177.
- [8]. Kummer FJ, Rose RM. Corrosion of titanium/cobalt-chromium alloy couples. 1983; Vol. 65-A:1125-1126.
- [9]. Chern Lin JH, Lo SJ, Ju CP. Biocorrosion study of titanium-cobalt alloys. J. Oral Rehabilitation 1995; 22:331-335.
- [10]. Chern Lin JH, Lo SJ, Ju CP. Biocorrosion study of titanium-nickel alloys. J. Oral Rehabilitation 1996; 23:129-134.
- [11]. COIMPA – Sociedade Industrial de Metais Preciosos da Amazonia Ltda. 1996. General San Martín. Bs. As. – Argentina.
- [12]. Baboian R. “Electrochemical Techniques for Predicting Galvanic Corrosion”, Galvanic and Pitting Corrosion – Field and Laboratory Studies, ASTM STP 576, American Society for Testing and Materials, 1976, pp. 5-19
- [13]. Jones DA. Principles and Prevention of Corrosion. Second Edition 1996. Cap. VI. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- [14]. E. Quezada. Determinación de la susceptibilidad a la corrosión de aleaciones de uso odontológico (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de General San Martín y Comisión Nacional de Energía Atómica 1997(República Argentina).
- [15]. Mansfeld F. Area relationship in galvanic. Corrosion 1971; Vol. 27: 436-442.
- [16]. Mansfeld F. The relationship between galvanic current and dissolution rates. Corrosion 1973, Vol. 29:403-405.
- [17]. Davis GO, Kolts J, Sridhar N. Polarization effects in galvanic corrosion. Corrosion 1986, Vol. 42: 329-336.
- [18]. Bumgardner JB, Lucas LC, Alverson MW, Tilden Jr AB. Effects of copper-based dental casting alloys on two lymphocyte cell lines and the secretion of Interleukin 2 and IgG. Dent. Mater 1993; 9:85-90.
- [19]. Burrows D. Hypersensitivity to mercury, nickel and chromium in relation to dental materials. International dental Journal 1986; 36:30-34.
- [20]. Castellanos JL. Mucosa bucal. Lesiones pigmentadas. Revista ADM 2002; 59:223-224.
- [21]. Blanco-Dalmau L, Carrasquillo-alberty H, Silva-Parra J. A study of nickel alloys. J. Prosth. Dent. 1984;52(1):116-119 .
- [22]. Magnusson B, Bergman M, Bergman B, Soremark R. Nickel allergy and nickel-containing dental alloys. Scand. J. Dent. Res. 1982;90:163-167.

**E-mail:** elvarq@yahoo.es  
quezada\_b@yahoo.es

# CARACTERES EPIDÉRMICOS FOLIARES DE PLANTAS ORNAMENTALES, TÓXICAS PARA ANIMALES DOMÉSTICOS.

## LEAF EPIDERMAL CHARACTERS OF ORNAMENTAL PLANTS, TOXIC FOR DOMESTIC ANIMALS.

Patricia Nasca de Zamora <sup>a</sup>

### RESUMEN

El tejido epidérmico de los vegetales presenta un diseño característico para cada especie, de manera que muchas plantas pueden reconocerse a través de su estudio microscópico. Además, este tejido resiste el pasaje por el tracto digestivo de los animales, permaneciendo prácticamente inalterable. Basados en este hecho, los investigadores Baungartder y Martin (1939) idearon la técnica microhistológica, que consiste en estudiar la composición botánica de la dieta de animales herbívoros a través del análisis microscópico de fragmentos de epidermis vegetales encontrados en la materia fecal de los mismos. A lo largo de los años, el uso de esta técnica se extendió ampliamente, adaptándose a diferentes objetivos, tanto ecológicos como económicos.

El objetivo del presente trabajo, que se llevó a cabo en la provincia de Tucumán, República Argentina, es describir las epidermis foliares de cuatro especies ornamentales tóxicas, a fin de aportar datos para la confección de una clave dicotómica de identificación de las mismas, para ser usada como elemento de diagnóstico en medicina veterinaria.

Se extrajeron en laboratorio - con diversas técnicas - epidermis foliares de *Evonymus japonicus*, *Hedera helix*, *Ficus benjamina* y *Vinca difformis*; especies ornamentales citadas como tóxicas en la bibliografía veterinaria y cultivadas habitualmente en jardines particulares y espacios públicos de la Provincia. Se confeccionaron preparados microscópicos permanentes, se tomaron registros fotográficos y se describieron las características epidérmicas de cada especie, teniendo en cuenta la forma de las células, la presencia o ausencia de estomas, presencia de tricomas, tipos de estomas, tipos de tricomas, etc.

*Hedera helix* y *Vinca difformis* presentan células epidérmicas de contorno lobulado, mientras que las células epidérmicas de *Evonymus japonicus* y *Ficus benjamina* son isodiamétricas y poligonales. Las cuatro especies descritas presentan estomas sólo en la zona internerval de la cara abaxial de sus hojas. Se encontraron tricomas simples solamente en la zona nerval de la epidermis adaxial de *Vinca difformis*, las demás epidermis son completamente glabras. Los caracteres encontrados en las especies estudiadas y volcados en las descripciones, constituyen un aporte de utilidad para la confección de una clave dicotómica de indentificación de estas plantas tóxicas a través de sus epidermis.

**Palabras clave:** epidermis foliar, plantas ornamentales, tóxicas, medicina veterinaria

### ABSTRACT

The epidermal tissue of the vegetables presents a typical design for every species so that many plants can be recognized across its microscopic study. In addition, it resists the passage for the digestive tract of the animals, remaining practically inalterable. Based on this fact, Baungartder and Martin (1939) designed the microhistological technique, which consists of studying botanical composition of diet of herbivorous animals across the microscopic analysis of plant's epidermis fragments found in the fecal matter. Throughout the years, the use of this technique spread widely, adapting to different aims, both ecological and economic.

The aim of the present work, realized in Tucumán's province, Argentina, is to characterize epidermis of ornamental, toxic plants for domestic animals, in order to be used as element of diagnosis in veterinary medicine.

Epidermis of *Evonymus japonicus*, *Hedera helix*, *Ficus benjamina* and *Vinca difformis* were extracted in laboratory. All of them are ornamental species, mentioned like toxic in the bibliography veterinary and cultivated habitually in particular gardens and public spaces of the Province. They were made prepared microscopic permanent, photographic records took and there were described the epidermal characteristics of every species, bearing in mind the form of the cells, the presence or absence of stomata and trichomes, and types of stomata and trichomes.

*Hedera helix* and *Vinca difformis* present lobulated epidermal cells, whereas *Evonymus japonicus* and *Ficus benjamina* ones are isodiametrics and polygonal. Four species present stomata only in the internerval zone of abaxial epidermis. They were trichomes only in the nerval zone of adaxial epidermis of *Vinca difformis*. The epidermal characters found in the studied species, constitute an usefull contribution for the confection of a dichotomous indentification key of these toxic plants.

**Key words:** epidermis, ornamental toxic plants, veterinary medicine

### INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, el uso de esta técnica se extendió ampliamente, adaptándose a diferentes objetivos. Así, se

usó para investigar la composición botánica de la dieta de pequeños mamíferos silvestres, de venados, camélidos de la Puna argentina y de la Puna chilena, etc. [4] [5] [6] [7]. Se aplicó también en el estudio de la dieta del ganado

<sup>a</sup> Ingeniera Agrónoma, Profesora Adjunta de la Cátedra de Botánica General, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

en una explotación caprina de la Provincia de Santiago del Estero, Argentina; [8] [9] y se usa actualmente en el reconocimiento de plantas silvestres tóxicas para el ganado [3].

No se encontraron antecedentes del uso de la técnica microhistológica en animales carnívoros u omnívoros. Sin embargo, es frecuente encontrar restos vegetales intactos en la materia fecal de animales de compañía, especialmente cachorros caninos y felinos. Estos restos vegetales provienen de la alimentación doméstica que se les proporcionan y también de plantas que estos animales mastican e ingieren por su natural curiosidad o hábitos de juego.

Existen muchas plantas ornamentales cultivadas en jardines particulares, plazas y parques que pueden producir intoxicaciones en estos animales [10]. En la mayoría de los casos estos procesos no son diagnosticados correctamente por el médico veterinario porque producen síntomas inespecíficos - tales como dermatitis o trastornos gastrointestinales - y porque generalmente el profesional carece de información adicional por parte de los propietarios del animal [11].

En el marco del proyecto de investigación denominado "Reconocimiento de plantas ornamentales, tóxicas para pequeños animales, a través de técnicas microhistológicas" que se lleva a cabo en la provincia de Tucumán, República Argentina, se elabora una colección de referencia, de preparados microscópicos y fotomicrografías de epidermis foliares de plantas comúnmente cultivadas como ornamentales, que son potencialmente tóxicas para los animales domésticos.

Esta colección está destinada a utilizarse en medicina veterinaria, como patrón de comparación, en el análisis microscópico de fragmentos de epidermis extraídos de la materia fecal de animales domésticos, presuntamente intoxicados con plantas ornamentales.

El presente trabajo tiene como objetivo describir las epidermis foliares de cuatro especies ornamentales y tóxicas a fin de aportar datos para la confección de una clave dicotómica para la identificación de las mismas.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se trabajó con hojas de *Evonymus japonicus* (Fam. Celastraceas), *Hedera helix* (Fam. Araliáceas), *Ficus benjamina* (Fam. Moráceas) y *Vinca difformis* (Fam. Apocináceas).

Se realizó la determinación taxonómica de las plantas y se recolectaron muestras de hojas completamente desarrolladas, que fueron almacenadas en frascos herméticos con fijador FAA.

La extracción de las epidermis se realizó según el método de Schultze [12], tratando las muestras con ácido nítrico concentrado y cristales de clorato de potasio. En aquellas especies cuyas epidermis no se desprendieron con facilidad, se procedió a diafanizar las hojas, según la técnica de Dizeo de Strittmater [13].

Las observaciones se realizaron con microscopio binocular marca Carl Zeitz, a 100 y 400 aumentos. Se tomaron fotomicrografías con una cámara digital marca Olympus, de 6 mega píxeles, de uso familiar.

El estudio epidérmico se hizo sobre un mínimo de diez repeticiones, describiéndose las caras adaxial y abaxial de las hojas y, en ambos casos, las zonas nerval e internerval.

Para las descripciones se tomó en cuenta la forma y proporción de las células epidérmicas propiamente dichas; la presencia, ubicación y tipo de estomas, según la clasificación de Van Cotthem [14], la presencia, ubicación y tipo de tricomas [15] y toda característica que permita su identificación y posterior diferenciación de otras especies vegetales.

## RESULTADOS

### I. Descripción de las epidermis de *Evonymus japonicus*.

#### 1. Epidermis adaxial

##### a. Zona internerval

Células isodiamétricas, de contorno poligonal. Polígonos irregulares de 4 a 7 lados, más frecuentemente 6, distribuidas sin un orden aparente. Ausencia de estomas. (Figura 1)

##### b. Zona nerval

Células semejantes a las de la zona internerval, pero ordenadas en hileras onduladas a lo largo de la nervadura. Se observan grupos de células triangulares o trapeciales que producen la formación de la onda en la hilera.

#### 2. Epidermis abaxial

##### a. Zona internerval

Presencia de abundantes estomas. Entre ellos, células epidérmicas alargadas (Proporción 2:1) o isodiamétricas (Proporción 1:1), ambas de contorno poligonal. Polígonos irregulares de 4 a 7 lados, más frecuentemente 5 ó 6. Estomas anomocíticos. (Figura 2 y Figura 3)

##### b. Zona nerval

Ausencia de estomas. Células alargadas (Proporción 2:1 a 4:1; la primera, más frecuente), de contorno poligonal, de 4 a 6 lados, más frecuente 4 ó 5. Alineadas en el sentido de la nervadura, en líneas rectas. Se observa una zona de transición entre las formas celulares de la zona internerval y las formas celulares sobre las venas. En esta zona las células son isodiamétricas, de contorno poligonal, de 4 a 5 lados. (Figura 4)

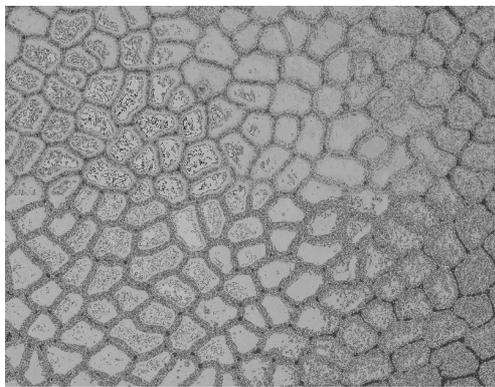


Figura 1: Epidermis adaxial de la hoja de *Evonymus japonicus*, zona internerval. 100 X.

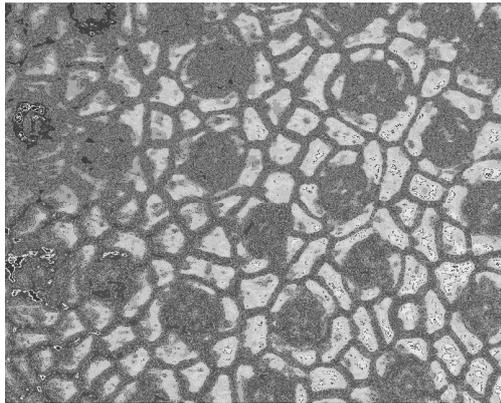


Figura 2: Epidermis abaxial de la hoja de *Evonymus japonicus*, zona internerval. 100 X.

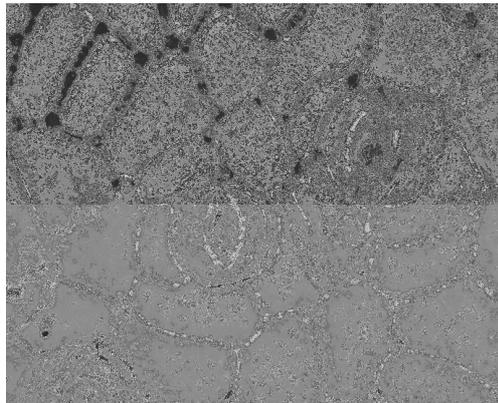


Figura 3: Epidermis abaxial de la hoja de *Evonymus japonicus*. Detalle de un estoma. 400 X.

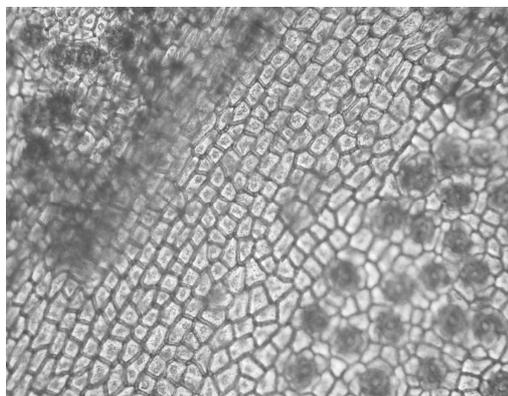


Figura 4: Epidermis abaxial de la hoja de *Evonymus japonicus*, zona nerval, zona internerval y zona de transición . 100 X.

## II. Descripción de las epidermis de *Hedera helix*

### 1. Epidermis adaxial

#### a. Zona internerval

Estomas ausentes. Células epidérmicas alargadas o isodiamétricas, de contorno lobulado, con 5 a 8 lóbulos, generalmente 6. (Figura 5)

#### b. Sobre las venas

Células de contorno poligonal de 3 a 4 lados, isodiamétricas o ligeramente alargadas, ordenadas en filas longitudinales, paralelas a la nervadura. Se observan formas de transición entre las células lobuladas de la zona internerval y las células poligonales de la zona nerval. Ausencia de estomas. (Figura 6)

### 2. Epidermis abaxial

#### a. Zona internerval

Presencia de abundantes estomas. Entre ellos, células epidérmicas alargadas o isodiamétricas, de contorno lobulado, con 5 a 8 lóbulos. (Figura 7)

#### b. Sobre las venas

Células de contorno poligonal, mayormente polígonos de 4 lados, isodiamétricas a ligeramente alargadas, ordenadas en filas longitudinales, paralelas a la nervadura. Paredes transversales perpendiculares u oblicuas. Ausencia de estomas. (Figura 8)

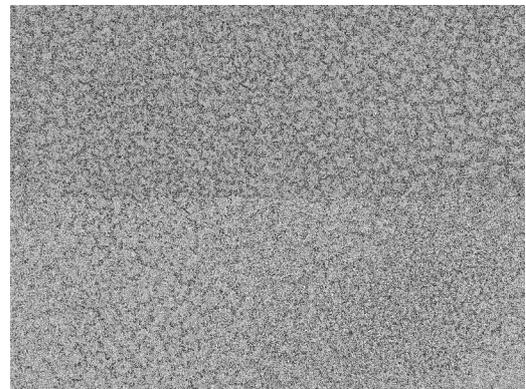


Figura 5: Epidermis adaxial de la hoja de *Hedera helix*, zona internerval. 100 X.

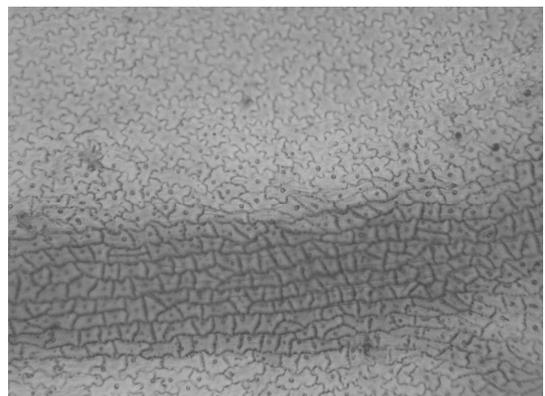


Figura 6: Epidermis adaxial de la hoja de *Hedera helix*, zona nerval. 100 X.

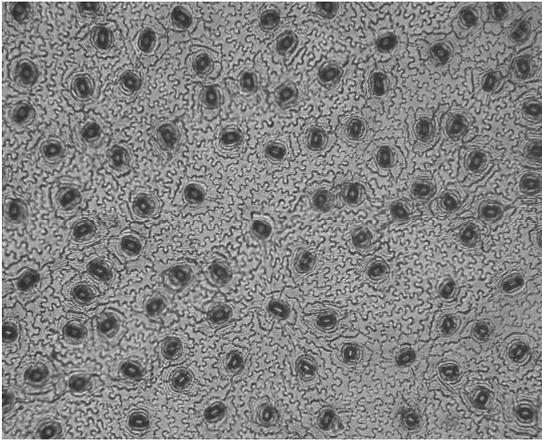


Figura 7: Epidermis abaxial de la hoja de *Hedera helix*, zona internerval. 100 X

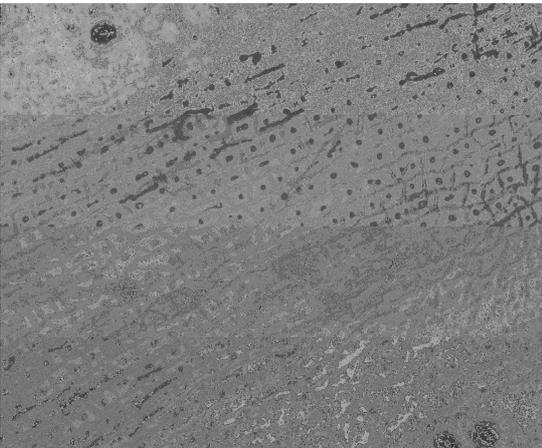


Figura 8: Epidermis abaxial de la hoja de *Hedera helix*, zona nerval. 100 X

### III. Descripción de las epidermis *Vinca difformis*.

#### 1. Epidermis adaxial

##### a. Zona internerval

Estomas ausentes. Células epidérmicas alargadas o isodiamétricas, de contorno lobulado, distribuidas sin un orden aparente. (Figura 9)

##### b. Sobre las venas

Células poligonales de 4 a 6 lados, alargadas, con las paredes terminales oblicuas; ordenadas en hileras longitudinales, paralelas a la nervadura. Presencia de tricomas simples, unicelulares, abundantes sobre la vena principal y en forma aislada sobre las venas menores. (Figuras 9 y 10)

#### 2. Epidermis abaxial

##### a. Zona internerval

Presencia de abundantes estomas, de tamaño pequeño en relación a las células epidérmicas propiamente dichas. Células epidérmicas de contorno lobulado, semejantes a las de la epidermis adaxial. (Figura 11)

##### b. Sobre las venas

Células de paredes rectas, formando polígonos de 4 a 5 lados, alargadas en el sentido de la nervadura (proporción 2:1 y 3:1). Ausencia de estomas y tricomas. (Figura 12)

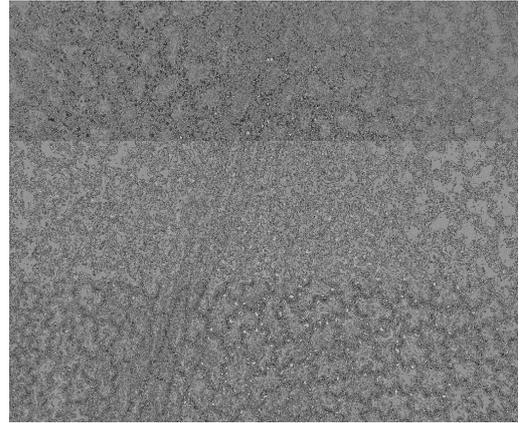


Figura 9: Epidermis adaxial de la hoja de *Vinca difformis*, zonas nerval e internerval. 100 X

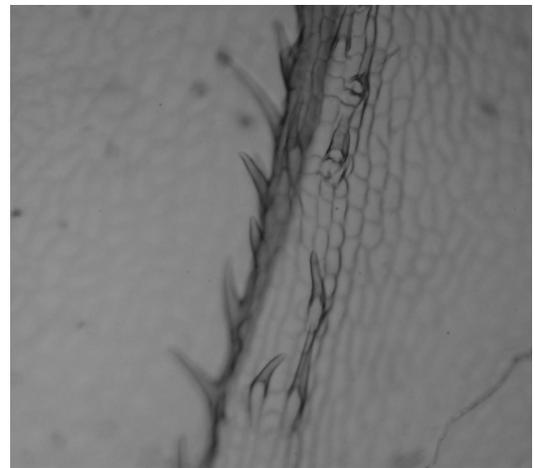


Figura 10: Epidermis adaxial de la hoja de *Vinca difformis*. Detalle de los tricomas sobre la nervadura principal. 100 X

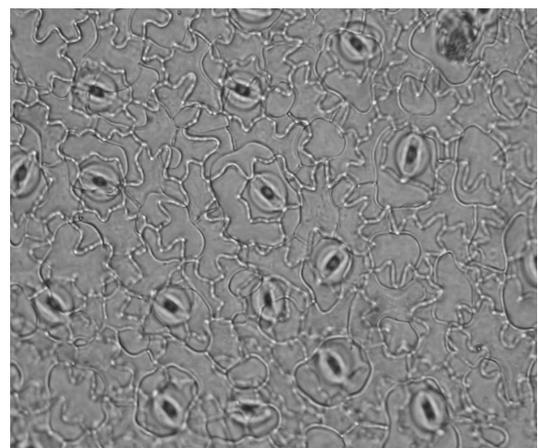


Figura 11: Epidermis abaxial de la hoja de *Vinca difformis*. Hoja diafanizada. 100 X

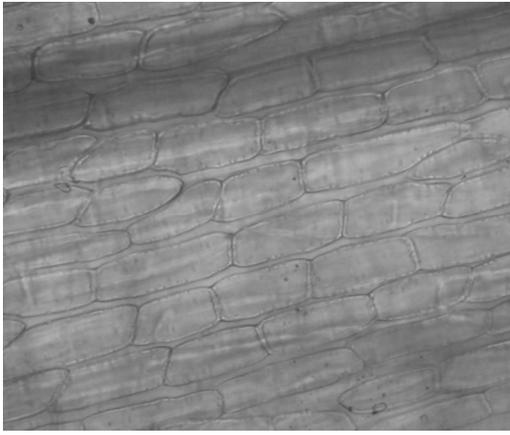


Figura 12: Epidermis abaxial de la hoja de *Vinca difformis*. Sobre la zona nerval. 400 X

#### IV. Descripción de las epidermis de *Ficus benjamina*

##### 1. Epidermis adaxial

###### a. Zona internerval

Células epidérmicas isodiamétricas, poligonales (Polígonos de 4 a 5 lados). Ausencia de estomas. Aisladamente se presentan grupos de células triangulares o subtriangulares dispuestas en forma radial, que le confieren un diseño característico. (Figura 13 y Figura 14)

###### b. Zona nerval

Células epidérmicas isodiamétricas, poligonales, alineadas sobre las nervaduras.

##### 2. Epidermis abaxial

###### a. Zona internerval

Células epidérmicas poligonales, isodiamétricas, semejantes a las de la epidermis adaxial. Presencia de abundantes estomas de tipo pericíticos. (Figura 15)

###### b. Zona nerval

Células poligonales, isodiamétricas o alargadas, alineadas sobre la nervadura. Paredes transversales generalmente perpendiculares, a veces oblicuas. Ausencia de estomas. (Figura 15)

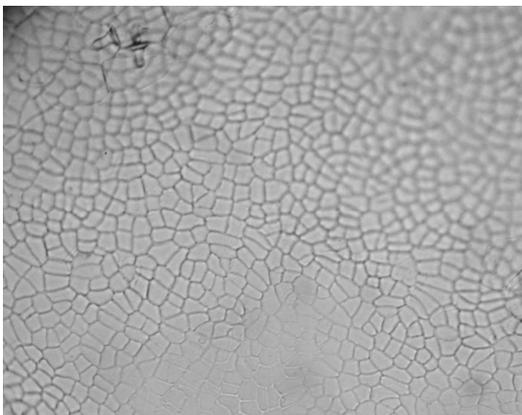


Figura 13: Epidermis adaxial de la hoja de *Ficus benjamina*, zona internerval. 100 X

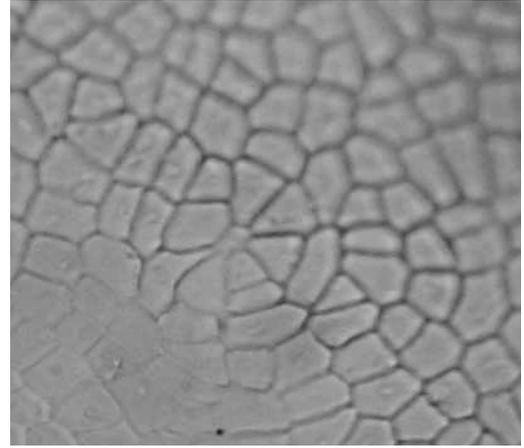


Figura 14: Epidermis adaxial de la hoja de *Ficus benjamina*. Detalle de un grupo de células triangulares, dispuestas en forma radial. 400 X

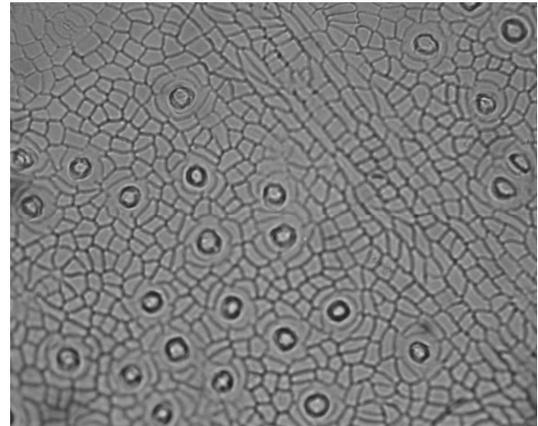


Figura 15: Epidermis abaxial de la hoja de *Ficus benjamina*, zonas nerval e internerval. 100 X

#### DISCUSIÓN

De las especies estudiadas, *Hedera helix* y *Vinca difformis* presentan células epidérmicas de contorno lobulado, mientras que *Evonymus japonicus* y *Ficus benjamina* tienen células poligonales. Esto podría incorporarse en la clave dicotómica como un dilema que separe dos grandes grupos según sus características generales.

Las cuatro especies descritas presentan estomas sólo en la zona internerval de la cara abaxial de sus hojas. Eso significa que, para realizar una correcta identificación de las mismas, necesitamos contar con fragmentos de ambas epidermis, ya que la epidermis adaxial, excepto la forma de las células, no presenta caracteres diferenciales relevantes.

Se encontraron tricomas simples solamente en la zona nerval de la epidermis adaxial de *Vinca difformis*, las otras especies estudiadas presentan epidermis completamente glabras.

Los caracteres histológicos encontrados en las especies estudiadas y volcados en las descripciones, constituyen un aporte de gran utilidad para la confección de una clave dicotómica de indentificación de estas plantas tóxicas a través de sus epidermis.

Los preparados microscópicos y fotomicrografías fueron incorporados a la colección histológica de referencia que se elabora en el marco del proyecto de investigación denominado "Reconocimiento de plantas ornamentales, tóxicas para pequeños animales, a través de técnicas microhistológicas".

Se encuentran depositados en la histoteca del Laboratorio de Histología Vegetal de la cátedra de Botánica General de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán, República Argentina.

## AGRADECIMIENTOS

A las Srtas. María Mercedes Medina, Lía Inés Coronel y Ana Cecilia Jalil y al Sr. Emanuel Mulet por la confección de los preparados microscópicos.

Al Sr. Gabriel Durango por la toma de las fotomicrografías.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Cutler, D. F. Anatomía Vegetal Aplicada. Librería Agropecuaria S. A. 1987
- [2]. Baungartner, L. L. and Martin, A. C. Plant histology as aid in squirrel food habits studies. J. Wild. Manage. 3: (1939) 266-268
- [3]. Pelliza de Sbriller, A. Acerca de la Microhistología. INTA Comunicación Técnica N° 32. Recursos Naturales. Dieta. Estación Experimental Agropecuaria S. C. de Bariloche. 1993.
- [4]. Castellaro G, Giorgio , Squella N, Fernando , Ullrich R, Tamara. Algunas Técnicas Microhistológicas Utilizadas en la Determinación de la Composición Botánica de Dietas de Herbívoros. *Agric. Téc.* [online] Vol. 67, N° 1, (2007) 86-93. Disponible en la World Wide Web: <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072007000100011&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072007000100011&lng=es&nrm=iso)>.
- [5]. Catán , A., C. A. M. Degano , L. Larcher . Modificaciones a la técnica microhistológica de Peña Neira para especies forrajeras del Chaco Semiárido Argentino. Quebracho. Revista de Ciencias Forestales (010): [en línea] (2003) Disponible en la World Wide Web: <<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=48101008>>
- [6]. Würschmidt, A. E. Y H. Salas. Clave para la determinación de la dieta de herbívoros de alta montaña en Tucumán. *Acta Zoológica Lilloana* XXXIX:2 (1990) 5-15
- [7]. Giorgio Castellaro G., Tamara Ullrich R., Birgit Wackwitz y Alberto Raggi S. Composición botánica de la dieta de alpacas (*Lama pacos* L.) y llamas (*Lama glama* L.) en dos estaciones del año, en praderas altiplánicas de un sector de la Provincia de Parinacota, Chile. *Agricultura Técnica, Chillán*, 64(4). (2004)
- [8]. Nasca de Zamora, P. S.; M. B. Colombo; F. G. Raya; J. E. Lucas; M. Lotti de Santos; D. Fernández de Aráoz y G. O. Martín. "Estructura de la epidermis foliar de especies nativas del Chaco Semiárido del Dpto. Río Hondo, Santiago del Estero" Resúmenes de las XII Jornadas Científicas de la Sociedad de Biología de Tucumán, Argentina. (1995)
- [9]. Nasca de Zamora, Patricia y Martín, Guillermo. "Clave de Caracteres Epidérmicos Foliares de Malváceas del Chaco Semiárido del Noroeste Argentino" Libro de Resúmenes del VII Congreso Latinoamericano de Botánica y XIV Congreso Mexicano de Botánica. (1998)
- [10]. Monteverde Susana. Intoxicaciones causadas por plantas Ornamentales y de Jardín. Asociación Argentina de Medicina Felina. [http://www.aamefe.org/intoxicaciones\\_plantas\\_monteverde.htm](http://www.aamefe.org/intoxicaciones_plantas_monteverde.htm)
- [11]. Zeinsteger, P.A. y Gurni, A. A Plantas tóxicas que afectan el aparato digestivo de caninos y felinos. *Rev. vet.* 15:1, 35-44. 2004.
- [12]. D'Ambrogio de Argüeso, A. Manual de Técnicas en Histología Vegetal. Editorial Hemisferio Sur S.A. 1986.
- [13]. Dizeo de Strittmatter, C. G. Nueva Técnica de Diafanización. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. Vol. XV, N° 1. (1973).126-129
- [14]. Van Cotthem, W. R. J. A classification of stomatal types. *Bot. J. Linn. Soc.* 63: (1970). 235-246
- [15]. Uphof, J. C. T. Plant hairs. En K. Linsbauer, *Handbuch der Pflanzenanatomie*, Bd 4, T. 5. gebr. Borntraeger, Berlín. 1962.

**E-mail:** [fliazamora@yahoo.com](mailto:fliazamora@yahoo.com)

# EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL NONI (*Morinda citrifolia* L.) EN TRES ESTADOS DE MADUREZ EN TINGO MARIA

## ANTIOXIDANT ACTIVITY EVALUATION OF NONI (*Morinda citrifolia* L.) FROM THREE MATURITY STAGES HARVESTED IN TINGO MARIA

Joel P. Sullón Vargas<sup>a,b,c</sup>, Elizabeth S. Ordóñez Gómez<sup>a</sup>, Johan G. Vela Romero<sup>a,b</sup>, Manuel Sandoval Chacón<sup>b</sup>

### RESUMEN

En la actualidad existe mucho interés por la búsqueda de antioxidantes de fuentes naturales incluyendo el noni (*Morinda citrifolia* L.). Su consumo es promocionado debido a sus propiedades funcionales que posee. El objetivo fue determinar el contenido de ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante del jugo de noni en tres estados de madurez: pintón, maduro y sobre maduro. Los antioxidantes analizados fueron: ácido ascórbico y polifenoles totales. La actividad antioxidante se midió utilizando los métodos: DPPH, ABTS<sup>o+</sup> y Peroxilo. Los resultados indican que el fruto en estado maduro tuvo el mayor contenido de ácido ascórbico 253±1,9mgAA/100ml; y polifenoles totales 232±6,8 mg de catequina/100ml de jugo de noni. Para el radical DPPH se encontró como mejor tratamiento en el estado maduro IC<sub>50</sub> 149,5±0,6ug/ml; en el método del catión ABTS<sup>o+</sup> se encontró que el estado de madurez pintón ejerció mayor efecto sobre la capacidad antioxidante IC<sub>50</sub> 145,5±0,6ug/ml y este mismo estado de madurez fue el mejor en el radical peroxilo IC<sub>50</sub> 106,1±2,0ug/ml. En consecuencia, el consumidor dispone de un fruto rico en antioxidantes, que podrían ayudar a aliviar problemas de salud asociados a estrés oxidativo y enfermedades crónicas.

**Palabras clave:** Noni, Acido ascórbico, Polifenoles totales, Antioxidantes, Radicales libres.

### ABSTRACT

There is a lot of interest to find antioxidants from natural resources, especially fruits that grow well in the Peruvian Amazon such as noni (*Morinda citrifolia* L.). This fruit is being used by the nutraceutical industry because of its functional properties. However, its antioxidant capacity has not being fully investigated. The purpose of this study was to determine the content of ascorbic acid, total polyphenols and antioxidant activity of noni juice under three maturity stages: unripe, ripe and over-ripe. Ascorbic acid and total polyphenols were determined by spectrophotometry. The antioxidant activity was quantified using the DPPH, ABTS<sup>o+</sup> and peroxy methods. Result from the ripe noni had the highest content of ascorbic acid 253±1,9mgAA/100ml) and total polyphenols 23±6,8mg de catechin/100ml. DPPH results showed that the best treatment was ripe noni IC<sub>50</sub> 149,5±0,6ug/ml. However, unripe noni provided best results for ABTS<sup>o+</sup> (IC<sub>50</sub> 145,5±0,6ug/ml) and peroxy inhibition (IC<sub>50</sub> 106,1±2,0ug/ml). Collectively, our results demonstrated that a juice prepared with unripe and ripe noni could significant amounts of natural antioxidants and help alleviate oxidative stress and chronic inflammation.

**Key words:** Noni, Ascorbic acid, Total polyphenols, Antioxidants, Free radicals.

### INTRODUCCIÓN

Existen evidencias que el jugo de noni puede ayudar favorablemente a combatir algunas enfermedades. Los compuestos polifenólicos, ácido ascórbico entre otros son atribuidos principalmente a su actividad antioxidante. Las controversias sobre el momento de cosecha donde se aproveche mejor sus propiedades funcionales nos motivo a realizar estudios en tres estados de madurez: pintón, maduro y sobre maduro para determinar el contenido de ácido ascórbico, polifenoles totales y su actividad antioxidante mediante radicales sintéticos como: DPPH, ABTS<sup>o+</sup> y Peroxilo. Los resultados demuestran que el noni en estado maduro contiene mayor contenido de ácido ascórbico y polifenoles totales, mientras que la actividad antioxidante frente al radical ABTS<sup>o+</sup> y Peroxilo fue mejor en el fruto pintón y solo el fruto maduro fue mejor en la inhibición del radical DPPH. Se cree que hay otro tipo de compuestos no estudiados aquí que contribuyen de

manera significativa con el potencial antioxidante en los frutos pintones.

### MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones de Productos Naturales de la Amazonía (CIPNA) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicado en la ciudad de Tingo María, Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco.

**Material biológico.** Los frutos de noni (*Morinda citrifolia* L.) fueron estudiados en estados de madurez pintón, maduro y sobre maduro, estas se obtuvieron del Fundo "Granjas Asociadas" ubicado a 2 Km. de la localidad de Aucayacu, Distrito de José Crespo y Castillo, Provincia de Leoncio Prado. La edad promedio de las plantas fue de 2 años. Las muestras fueron sometidas a una reducción de tamaño por cada estado de madurez, obteniéndose el

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), Tingo Maria - Perú

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones de Productos Naturales de la Amazonía (CIPNA), Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria – Perú

<sup>c</sup> joelsullon@hotmail.com

jugo con un extractor. Posteriormente fueron diluidas con etanol al 96% en una concentración de 300 mg/ml. Seguidamente se colocaron en microtubos 1.5ml y fueron centrifugados a 10,000 rpm/5 min a 20°C, a partir de esta muestra se prepararon concentraciones de 100, 30 y 10 mg/ml.

**Materiales y equipos.** Espectrofotómetro, desionizador, balanza analítica, baño maria, centrifuga, extractor, micropipetas, gradillas, tips, cubetas.

**Reactivos.** 2,6 Dichloroindophenol Sodium Salt Hydrate – DFIF, L(+)-ácido ascórbico QP, (+)-catequin, Solución de fenol folin-ciocalteu, 1,1 diphenyl-2-picrilhydrazyl (DPPH); 2,2-azobis (2- amidopropano)hidrocloride (ABAP); 2,2-azino-bis (3-ethyl-benzthiazoline-6-acido sulfónico) (ABTS); metanol (96% pureza), agua desionizada.

**Métodos analíticos.** La cuantificación de ácido ascórbico se realizó por el método de espectrofotometría [4]. Para los polifenoles totales se utilizó el método Folin-Ciocalteu [11]. La capacidad de Inhibición del radical 1,1 diphenyl-2-picrilhydrazyl (DPPH) se evaluó mediante el método descrito por [1], Modificado por [11]. La capacidad de inhibir el catión 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazoline – 6 ácido sulfónico) (ABTS<sup>o+</sup>), se evaluó mediante el método descrito por [9]. Y para evaluar la capacidad del radical peroxilo se empleó el método descrito por [11].

**Metodología experimental.** El ácido ascórbico fue evaluado con el espectrofotómetro a 515 nm, haciendo reaccionar 100µl de la muestra con 900µl de 2,6 diclorofenolindofenol y los resultados se expresaron en mg de AA/100ml de jugo. Los polifenoles totales se determinó a 700 nm y los resultados fueron expresado en mg de catequina/100ml de jugo. Para la evaluación del radical DPPH se hizo reaccionar 25µl de muestra con 975µl de DPPH y las lecturas se realizaron a 515 nm; para el catión ABTS<sup>o+</sup> la reacción fue de 10µl de muestra y 990µl del ABTS<sup>o+</sup> a 734 nm; la lectura del radical peroxilo se realizó a 414 nm, haciendo reaccionar 10µl de muestra y 990µl del radical. La evaluación de los tres radicales fue medida cada 30 seg/5 min. Los resultados se expresaron en IC<sub>50</sub> (ug/ml) y fueron analizados mediante el modelo estadístico Diseño Completo al Azar (D.C.A), sometidos al programa estadístico SAS y la prueba de Tukey (p<0,05).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cuantificación de ácido ascórbico en el jugo de noni en tres estados de madurez.

El ácido ascórbico es considerado como uno de los antioxidantes naturales y juega un papel vital en la síntesis del colágeno y en la protección contra las lesiones producidas por los radicales libres. En el Cuadro 1 se observa los datos del contenido de ácido ascórbico en el jugo de noni en diferentes estados de madurez, después del análisis estadístico se determinó, que los estados de madurez influyen en el contenido de ácido ascórbico, encontrándose el mayor contenido de ésta en el fruto maduro con 252, 975±1,87 mg de AA/100 ml de jugo.

**Cuadro 1.** Contenido de ácido ascórbico en el jugo de noni.

Estado de madurez	mg. AA*/100 ml Jugo
Pintón	224,376±0,41 <sup>b</sup>
Maduro	252,975±1,87 <sup>a</sup>
Sobre maduro	219,575±0,28 <sup>b</sup>

(\*) AA= ácido ascórbico

Para los estados de madurez pintón y sobre maduro no existió diferencia estadística significativa, 224,376±0,41 mg de AA/100ml; y 219,575±0,28 mg de AA/100ml de jugo de noni respectivamente. Esto puede deberse a lo reportado por [2] quien indica que los cambios en la tasa respiratoria son acompañados de cambios químicos y bioquímicos en el fruto, de los cuales se han presentado cambios en el contenido de azúcares, almidón, acidez y vitaminas. La disminución en los niveles de ácido ascórbico después de la maduración y el almacenamiento es fácilmente cuantificable, esto está asociada a la tasa respiratoria en la que se generan especies reactivas de oxígeno (EROS). En este panorama, las enzimas como ascorbato peroxidasa y ascorbato reductasa, juegan un papel importante al usar el ácido ascórbico como sustrato [12]. Otros autores reportan para la guayaba 111.93 y 160 mgAA/100g de la parte comestible [5], y para el limón 80 mgAA/100g [13], con estos datos se puede indicar que el noni en estado maduro fue mejor y el consumo de 50g de este fruto puede cubrir el requerimiento mínimo diario de ácido ascórbico que es 60mg [12].

### Cuantificación de polifenoles totales en el jugo de noni en tres estados de madurez.

En el Cuadro 2 se presenta los resultados del contenido de polifenoles totales en el jugo de noni en los tres estados de madurez, analizando estadísticamente se encontró que el mejor fue el fruto maduro con 232,413±6,76 mg de catequina/100ml de jugo, seguido por el pintón con 224,243±7,32 mg de catequina/100ml de jugo.

**Cuadro 2.** Contenido de polifenoles totales en el jugo de noni.

Estado de madurez	mg de catequina/100 ml Jugo
Pintón	224,243±7,32 <sup>a</sup>
Maduro	232,413±6,76 <sup>a</sup>
Sobre maduro	173,510±4,26 <sup>b</sup>

Este comportamiento se puede atribuir al proceso de maduración del fruto ya que una vez iniciada la madurez, la presencia del etileno conocido como una hormona de maduración provoca cambios en la composición de los frutos, por lo que en frutos maduros la presencia del etileno favorece un aumento en la concentración polifenólica [8]. Por el contrario en el noni sobre maduro el contenido de polifenoles fue 173,510±4,26 mg de catequina/100ml de jugo; si comparamos nuestros resultados con [7] este reporta 133 mg/100g en pulpa de noni pero no especifica el estado de madurez, así mismo [12] reporta 120mg catequina/100g (BH) de pulpa de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh), entonces vemos que la fruta madura de noni fue mejor.

### Inhibición del radical 1,1 diphenyl-2-picrilhydrazyl (DPPH).

Los resultados de la prueba de DPPH fueron expresados en IC<sub>50</sub> (ug/ml) para los diferentes estados de madurez: pintón, maduro y sobre maduro como se muestra en el Cuadro 3 los valores encontrados fueron analizados estadísticamente, determinando que el mejor tratamiento fue para el estado maduro con IC<sub>50</sub> de 149,475±0,55 ug/ml. Se dice que los frutos que tienen el valor de IC<sub>50</sub> menor tienen mayor actividad antioxidante; el mismo autor realizó una comparación de IC<sub>50</sub> en frutos tropicales e indica que el noni está entre las 11 mejores en actividad antioxidante [7].

**Cuadro 3.** Inhibición de radicales libres de DPPH (IC<sub>50</sub>) en el jugo de noni.

Estado de madurez	IC <sub>50</sub> (µg/ml)
Pintón	154,819±1,76 <sup>b</sup>
Maduro	149,475±0,55 <sup>a</sup>
Sobre maduro	200,321±1,43 <sup>c</sup>

Se cree que durante la maduración podrían generarse productos de condensación o incremento en algunos compuestos fenólicos que aportan mayor actividad antioxidante [12]. En el estado de madurez pintón el IC<sub>50</sub> del jugo de noni fue 154,819±1,76 ug/ml y para el sobre maduro IC<sub>50</sub> 200,321±1,43 ug/ml, el cual determina que un fruto para ser cosechado y consumido tiene que haber alcanzado su madurez fisiológica y comercial, en cambio los frutos sobre maduros son aquellos en los que la madurez organoléptica no es gustativa ni olfativa y señala que es el final desarrollo de la fruta y comienza la senescencia y ordinariamente es un proceso irreversible [3]. Si vemos los valores de IC<sub>50</sub> del noni con otros frutos tenemos que este es mejor que el agua de coco de la variedad verde con 1 – 10 % de albumen con IC<sub>50</sub> 252±3,6 mg/100ml [10] y la fresa con IC<sub>50</sub> 132,8 mg/100g [6].

### Inhibición del catión 2,2-azino bis (3-etilbenzotiazoline – 6 ácido sulfónico) (ABTS<sup>o+</sup>).

Los resultados de la evaluación de la capacidad secuestrante del catión ABTS<sup>o+</sup> se observa en el Cuadro 4. Comparando los promedios de los tratamientos mediante la prueba de Tukey (p < 0,05) se encontró que el fruto en estado de madurez pintón ejerció mayor efecto sobre la capacidad de inhibir el catión ABTS<sup>o+</sup> IC<sub>50</sub> 145,490±0,58 ug/ml.

**Cuadro 4.** Determinación del IC<sub>50</sub> del radical ABTS<sup>o+</sup> en el jugo de noni.

Estado de madurez	IC <sub>50</sub> (µg/ml)
Pintón	145,490±0,58 <sup>a</sup>
Maduro	186,961±1,22 <sup>b</sup>
Sobre maduro.	191,311±1,22 <sup>c</sup>

Comparando con la prueba de DPPH el que tuvo mejor IC<sub>50</sub> correspondió al estado de madurez maduro, esto puede ser explicado con lo reportado por [6], quien indica que ambos métodos presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones, aunque también muestran diferencias. El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS<sup>o+</sup> tiene que ser generado tras una reacción que puede ser química (dióxido de manganeso,

persulfato de potasio, ABAP), ó enzimática, además se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, mientras que el DPPH solo puede disolverse en medio orgánico. Asimismo, en los frutos pintones se encuentra un marcado sabor astringente y que se reduce en la maduración, los taninos que se localizan en los vasos de látex y sus células adyacentes tanto en la pulpa como en la cáscara ofrecen una mayor actividad antioxidante. Por otro lado la actividad antioxidante disminuye con el estado maduro IC<sub>50</sub> 186,961±1,22ug/ml y sobre maduro IC<sub>50</sub> 191,311±1,22ug/ml. Comparado los resultados obtenidos con la fresa IC<sub>50</sub> 202,5±0,5 mg/100g y uva IC<sub>50</sub> 161,5±3,3 mg/100g [6], el noni es mejor.

### Capacidad de inhibición del radical peroxilo.

El Cuadro 5 presenta los resultados del coeficiente de inhibición del radical peroxilo, analizados estadísticamente se determinó como el mejor al fruto de noni en estado de madurez pintón con IC<sub>50</sub> 106,065±1,98ug/ml; esto es corroborado con lo que reporta [15] quien indica que los frutos no maduros guardan como reserva muchos componentes y que durante el periodo de maduración la actividad metabólica se incrementa, provocando cambios organolépticos y físico químicos.

**Cuadro 5.** Determinación del IC<sub>50</sub> del radical peroxilo en el jugo de noni.

Estado de madurez	IC <sub>50</sub> (µg/ml)
Pintón	106.065±1,98 <sup>a</sup>
Maduro	114.774±1,03 <sup>b</sup>
Sobre maduro.	132.124±0,74 <sup>c</sup>

Así mismo en las frutas maduras y sobre maduras el coeficiente de inhibición del radical peroxilo fueron: IC<sub>50</sub> 114,774±1,03ug/ml y IC<sub>50</sub> 132,124±0,74ug/ml respectivamente; esto puede deberse al proceso de maduración de las frutas porque hay un aumento progresivo en la concentración de sólidos solubles, descenso de la acidez y compuestos aromáticos. Llevando a la comparación los resultados encontrados [14] determinó en la cáscara pintón de camu camu (*Myrciaria dubia HBK*) un IC<sub>50</sub> 8,30±0,85ug/ml; el mismo autor indica que la maca tiene un IC<sub>50</sub> 430ug/ml.; esto nos indica que el noni es un fruto con buena actividad antioxidante, siendo menor que la cáscara pintón de camu camu pero superior a la maca.

## CONCLUSIONES

El mayor contenido de ácido ascórbico en el jugo de noni en estado maduro fue 252, 975±1,87mgAA/100ml y polifenoles totales 232,413±6,76 mg de catequina/100ml. La mejor capacidad antioxidante del DPPH fue en el estado maduro IC<sub>50</sub> 149,475±0,55ug/ml., mientras que el estado de madurez pintón fue mejor para el catión ABTS<sup>o+</sup> IC<sub>50</sub> 145,490±0,58ug/ml y radical peroxilo IC<sub>50</sub> 106,065±1,98ug/ml.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones de Productos Naturales de la Amazonía (CIPNA) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, a la Dra. Elizabeth Ordóñez Gómez y PhD. Manuel Sandoval Chacón por su asesoramiento en la

investigación, al Dr. Tomás Menacho Mallqui por su apoyo en la revisión, a Johan Vela Romero con quien compartimos mucho tiempo en el laboratorio, a mi esposa

la Ing. Ching Lig Flores Gastelú y familia, a mi madre, hermanos y amigos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. y Berset, C. 1995. Laboratoire de Chimie des Substances Naturelles. Departament Science de Aliment. Use of a Free Radical Method to evaluate antioxidant activity. ENSIA 1. Vol. 28 N° 1. p 25 – 30.
- [2]. Briceño, S.; Zambrano, J.; Materano, W.; Quintero, I. y Valera, A. 2005. Agronomía Trop. Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes (UCLA). Calidad de los Frutos de Mango 'Bocado', Madurados en la Planta y Fuera de la Planta Cosechados en Madurez Fisiológica. Venezuela. 55(4): p 461-473.
- [3]. FAO/OMS. 1984. Manuales para el Control de Calidad de los Alimentos: Poscosecha de Frutas y Hortalizas. Roma. Italia. 161 p.
- [4]. Hung, CH-Y. y Yen, G-CH. 2002. J. Agric. Food Chem. Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Isolated from *Mesona Procumbens* Hemsl. P: A-E.
- [5]. Instituto Nacional De Nutrición. 2001. Ministerio de Salud y Desarrollo Social. Dirección Técnica. División de Investigación de Alimentos. Tabla de Composición de Alimentos para uso Práctico. Publicación N° 54. Serie Cuadernos Azules. Revisión 1999. 1ª reimpresión. Caracas, Venezuela. P 13 – 58, 59 – 61.
- [6]. Kuskoski, M.; Asuero, A.; Troncoso, A.; Mancini-Filho, J. y Fett, R. 2005. Ciencia y Tecnología de Alimentos. Campinas. Aplicación de Diversos Métodos Químicos para Determinar Actividad Antioxidante en Pulpa de Frutos. 25 (4): p 726 – 732.
- [7]. Murillo, E. 2006. Alfa Editores Técnicos. Universidad de Panamá, Instituto de Alimentación y Nutrición (IANUT). Actividad Antioxidante "In Vitro" de las bebidas de frutas. p 20 – 27.
- [8]. Park, Y.; Jung, S.; Kang, S.; Drzewiecki, J.; Namiesnik, J. y Haruenkit, R. 2006. International Journal of Food Science and Nutrition. *In vitro* Studies of Polyphenols, antioxidants and Other Dietary Indices in Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) 57: 107-22.
- [9]. Pelligrini, N.; Re, R.; Yang, M. y Rice-Evans, C. 1999. Screening of Dietary Carotenoids and Carotenoid-Rich Fruit Extracts of Antioxidant Activities Applying 2,2-Azinobis (3-Ethylenebenzothiazoline-6-sulfonic acid) Radical Cation Decolorization Assay. Methods in Enzymology. 299: p 379 – 391.
- [10]. Reátegui, D. 2003. Facultad de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Composición Física, Química y Actividad Antioxidante del agua de dos Variedades de Coco (*Cocos lucifera L.*). Tesis para optar el Título de Ingeniero. Tingo María, Perú. 72 p.
- [11]. Sandoval, M.; Okuhama, N.; Ángeles, F.; Melchor, V.; Condezo, L.; Lao, J. y Miller, M. 2001. Food Chemistry. Antioxidant Activity of the Cruciferous Vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). Publicación aceptada. 79: 207 - 213.
- [12]. Vargas, A.; Rivera, A. y Narváez, C. 2005. Revista Colombiana de Química. Capacidad Antioxidante Durante la Maduración de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh). Vol. 34, N° 1. Colombia. p 57 – 65.
- [13]. Vilaplana, M. 2007. OFFARM Ámbito Farmacéutico Nutrición. Antioxidantes Presentes en los Alimentos. Vitamina, Minerales y Suplementos.. Volumen 26. N° 10. p 79 – 86.
- [14]. Villanueva, J. 2003. Facultad de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Antocianinas, Acido Ascórbico, Polifenoles Totales y Actividad Antioxidante en la Cáscara de Camu Camu (*Myrciaria dubia* McVaugh H.B.K). Tesis para optar el Título de Ingeniero. Tingo María, Perú. 74 p.
- [15]. Wills, R. 1984. Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas post-recolección. Edit. Acribia, S. A. Zaragoza, España. 195 p.

**E-mail:** msandtm@msn.com

# TETRAHIDROTIOFENO: UN LIGANDO POCO CONOCIDO

## TETRAHYDROTHIOPHENE: A LIGAND NOT VERY FAMOUS

R. Flores-Centurión<sup>a</sup>, J. Santiago Contreras<sup>a,b</sup>

### RESUMEN

Se presenta una revisión de la química del Tetrahidrotiofeno, un ligando poco conocido pero que es utilizado como grupo saliente para generar nuevas moléculas, o unido a metales de transición para generar nuevos complejos. Específicamente se muestra la utilidad de este ligando en la generación de complejos organometálicos de oro. Finalmente se presentan los resultados preliminares de la obtención de un complejo de este ligando con oro.

**Palabras clave:** Tetrahidrotiofeno, complejos, oro.

### ABSTRACT

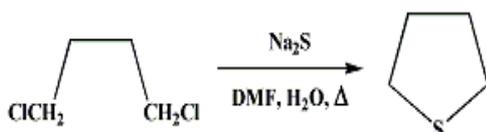
A review about Tetrahydrothiophene chemistry is presented. This ligand is not very famous but it is used as leaving group to make new molecules, or bonded with transition metals to generate new complexes. Specifically we illustrate the use of this ligand to generate gold organometallic compounds. Finally, the preliminary results about the preparation of a gold(I) complex bonded to Tetrahydrothiophene are presented.

**Key words:** Tetrahydrothiophene, complexes, gold.

### INTRODUCCIÓN

El tetrahidrotiofeno, THT, es un líquido incoloro, de olor desagradable y altamente tóxico. Por estas razones se le utiliza muy poco en química. Sin embargo tiene propiedades interesantes que pueden ser explotadas, ya sea como solvente, intermediario en la fabricación de medicamentos y pesticidas, como insecticida y como repelente de polillas. También se le utiliza como odorizante de gas y es preferido al etanotiol por su estabilidad térmica, hasta 500°C, y porque no es corrosivo.

El tetrahidrotiofeno es obtenido a través de una reacción  $S_N2$  entre el 1,4-dicloro butano y el sulfuro de sodio, según el esquema 1:1



Esquema 1. Síntesis del THT

Es un heterociclo muy estable. La molécula no es plana y presenta un equilibrio de rotación sobre un eje  $C_2$  (Fig. 1).<sup>2</sup> La geometría molecular ha sido estudiada por el método *ab initio*, determinándose un ángulo de torsión de 13°. [3].

La presencia de dos pares libres en el átomo de azufre le confiere al THT propiedades nucleofílicas. Esta propiedad hace que el THT actúe formando aductos relativamente estables. El estudio del enlace de hidrógeno formado entre el THT y el H<sub>2</sub>O ó HCl muestra que el par libre involucrado se encuentra en un eje casi perpendicular al plano C-S-C del heterociclo (Fig. 2) [4].



Figura 1. Estructura del THT

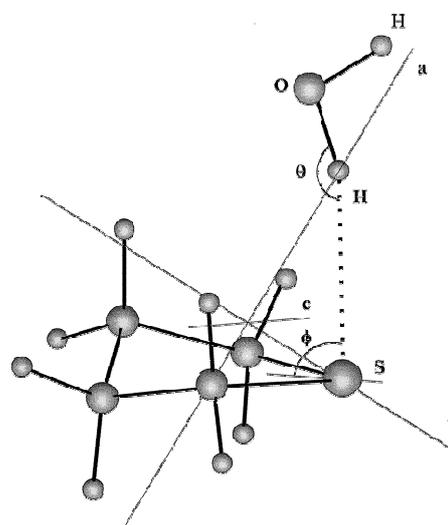


Figura 2. Puente de hidrógeno THT-H<sub>2</sub>O

El THT puede ser producido en el organismo como producto del metabolismo de sustancias como el 1,4-dibromobutano o el dimetilsulfonato de 1,4-butilo (busulfan). [5][6].

La estructura del THT se encuentra como parte de biomoléculas como la biotina, complejo B (Fig. 3). Esta molécula está constituido por un anillo ureido unido al anillo del THT, con el ácido valérico como sustituyente.

<sup>a</sup> Escuela Académico Profesional de Química, Facultad de Química e Ing. Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima - Perú

<sup>b</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima - Perú

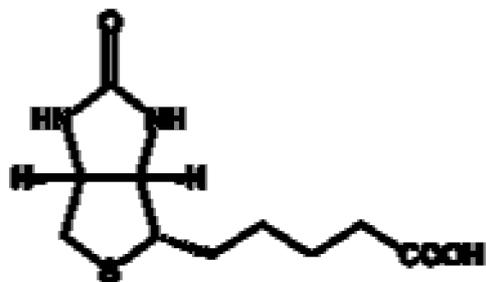


Figura 3. Estructura de la biotina

Los derivados alquilados 2,4- y 2,5-tetrahidrotiofeno poseen actividad biológica, actuando como inhibidores de la enzima 5-lipoxigenasa.

El poli(*p*-fenilenoivinileno), PVV, es un polímero con buenas propiedades para actuar como diodo emisor de luz (LED). Este polímero es preparado a partir de un precursor polimérico con el THT unido como sulfonio. Este grupo sale del polímero gracias a un tratamiento térmico, liberando el THT y formando el PVV (Fig. 4) [7]. También se ha utilizado el THT en la preparación de coloides de oro.[8].

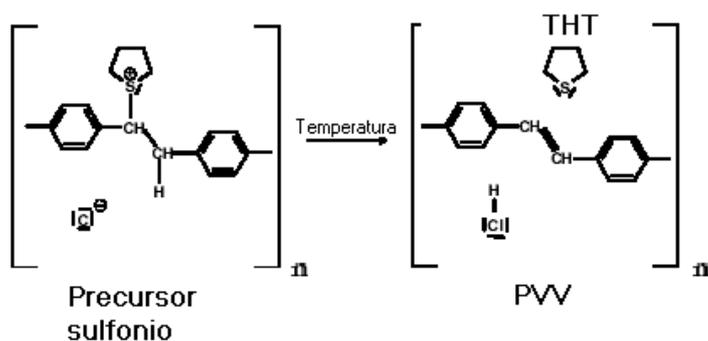


Figura 4. Ejemplo de aplicación del THT como grupo saliente

Debido a la presencia del S, que actúa como átomo donador de densidad electrónica, el THT forma complejos con metales de transición de configuración *d* [8] como el Au(I), Pd(II) y Pt(II). En el caso del oro, el compuesto más utilizado para generar toda una serie de compuestos organometálicos es el Au(tht)Cl. En esta molécula tanto el Cl<sup>-</sup> como el THT pueden ser reemplazados. Si se hace reaccionar el Au(tht)Cl con carbaniones se reemplaza el anión Cl<sup>-</sup> generándose toda una serie de compuestos organometálicos.[9] Se aprovecha el hecho de que el S se une débilmente a los metales, para reemplazarlo por fosfinas,<sup>10,11</sup> aminas,[12] o amidas.[13] Todas estas transformaciones tienen que hacerse casi inmediatamente después de preparar el Au(tht)Cl debido a que este compuesto no es muy estable.

En este trabajo presentamos nuestros resultados preliminares de la preparación del Au(tht)Br. Este complejo fue preparado esperando que sea más estable que el Au(tht)Cl.

## PARTE EXPERIMENTAL

La preparación del Au(tht)Br se realizó en dos etapas. Primero se preparó el HAuBr<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, por analogía a la preparación del HAuCl<sub>4</sub>, [14] para luego formar el complejo con el THT.

### Síntesis del HAuBr<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O

Se disolvió 10 g de oro en 240 mL de agua regia. A la solución se agregó 180 mL de solución acuosa de HBr 48%. La solución marrón oscuro producía gases pardos. Se dejó reposar por 24 horas y luego se calentó a 80°C hasta que salieran gases. En seguida se agregó 1 mL de HBr 48%. Este proceso se repitió 4 veces. Finalmente, los cristales fueron lavados con etanol.

### Síntesis del Au(tht)Br

En un balón de 3 bocas, provisto de una pera de adición, refrigerante y termómetro, se agregó 1 g de HAuBr<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 40 mL de EtOH y 1 mL de agua. Esta solución fue calentada a 50°C y luego se le agregó, lentamente y bajo agitación, una solución de 2 mL de THT disuelto en 10 mL de EtOH. Al término de la adición del THT se continuó calentando por 20 minutos adicionales. Al enfriarse la solución se formaron cristales blancos en forma de aguja, que fueron lavados con dietiléter y etanol. *Análisis elemental*: (calculado) C, 13.45 (13.16); H, 2.3 (2.21) y S, 8.0 (8.78).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El complejo Au(tht)Br ha sido caracterizado por sus espectros <sup>1</sup>H-RMN y por FT-IR. El espectro de RMN del protón presenta cuatro señales. Las señales a 7.24 y 1.60 ppm corresponden al solvente, CDCl<sub>3</sub>, y agua respectivamente. Las señales a 2.20 (CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-S) y 3.42 ppm (CH<sub>2</sub>-S) corresponden a los grupos metileno del THT, pero no se observa el triplete esperado para cada par de CH<sub>2</sub>. El ligando libre presenta señales a campos más altos, 1.94 y 2.82 ppm respectivamente. Esta diferencia se debe a la interacción del metal con el átomo de azufre del THT. La forma ancha de estos picos hace pensar de que hay elementos paramagnéticos, sin embargo el Au(I) es diamagnético. Sospechamos que el compuesto se ha descompuesto parcialmente dando lugar a especies paramagnéticas. Esto es posible pues se sabe que el Au(I) tiene tendencia a la dismutación. Efectivamente, se ha observado que este compuesto es sensible a la luz, oscureciéndose rápidamente. Luego de 4 días se descomponían en aprox. 50%. Otra posible explicación es el poder oxidante del precursor HAuBr<sub>4</sub> que oxida al THT, reduciendo el estado de oxidación del metal a Au(0), pudiendo llegar a oro metálico. Sin embargo, se ha utilizado un gran exceso de este solvente para evitar que el Au se reduzca hasta Au metálico, lo cual sucede cuando se quiere preparar oro metálico coloidal.<sup>15</sup> El exceso de THT permite que el Au establezca el estado de oxidación +1 por la formación del complejo deseado. Es probable que, a pesar del cuidado en las manipulaciones, se haya obtenido un muy pequeño porcentaje de oro coloidal, suficiente para producir el ensanchamiento de las señales en el espectro RMN.

El análisis del espectro IR no nos permite identificar el enlace Au-Br pues está fuera de la ventana permitida por el equipo utilizado. El valor teórico para este enlace es de  $220\text{ cm}^{-1}$ . Sin embargo se observan los picos del ligando libre ligeramente desplazados por efecto de la influencia del metal.

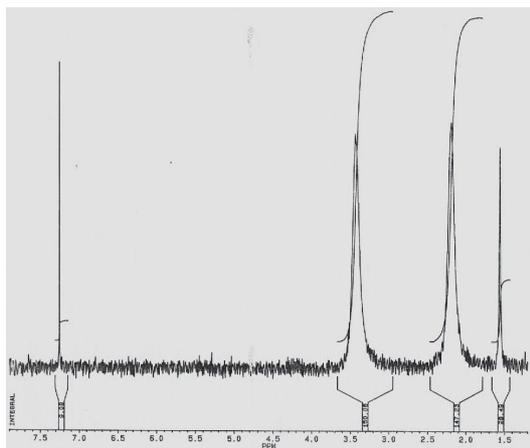


Figura 5. Espectro [1] H-RMN del Au(tht)Br

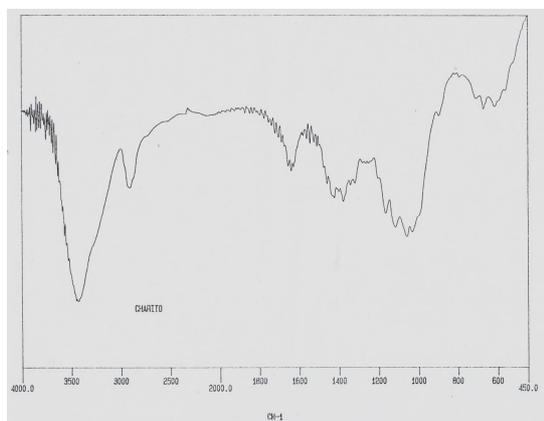


Figura 6. Espectro IR del Au(tht)Br

Los valores obtenidos en el análisis elemental del Au(tht)Br son cercanos a los valores teóricos, excepto para el azufre. Estos valores permiten descartar la posibilidad de que se haya obtenido el complejo Au(tht)Br<sub>3</sub>, tal como sucede durante la síntesis del Au(tht)Cl.

A pesar de que el oro(I) tiene su última capa electrónica completamente llena ([Xe] 4f[14] 5d[10]), se estabiliza mejor formando complejos lineales al igual que los otros cationes monovalentes del mismo grupo, Cu(I) y Ag(I). La razón de este comportamiento es la formación dos orbitales híbridos como producto de la hibridación de los orbitales *ns*, *np* y *(n-1)d*. Este tipo de hibridación es posible por la semejanza energética de dichos orbitales. Todos estos cationes son considerados blandos, según la terminología de Pearson, por la diferencia relativamente pequeña entre los orbitales HOMO y LUMO. Se trata de un catión blando que tiene buena afinidad por aniones blandos, es decir voluminosos y de baja carga o neutros. Por dicha razón, la afinidad por los aniones haluro sigue el siguiente orden:  $\text{I}^- > \text{Br}^- > \text{Cl}^-$ .<sup>16</sup>

## CONCLUSIÓN

El tetrahidrotiofeno es una molécula con propiedades que le permiten unirse a otras a través del átomo de azufre. Este enlace es relativamente débil, lo cual es explotado en la preparación de nuevas moléculas orgánicas, complejos de transición u com- puestos organometálicos. Tiene una buena afinidad por los metales de configuración d8. Esta propiedad es muy explotada en la química del oro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Los resultados preliminares de esta investigación nos dan evidencia importan- te acerca de la preparación del complejo Au(tht)Br. Sin embargo, quedan aún cues- tiones por aclarar.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la DAAD (Servicio alemán de intercambio académico) por el financiamiento de R. Flores para realizar este trabajo en la Universidad de Braunschweig, Alemania.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Lawson J., Easley W., Wagner W., *Organic Syntheses, Coll. Vol.* 36, 89.
- [2]. Sanz M., López J., Alonso J., *J. Phys. Chem. A*, **102**, 3681(1998).
- [3]. El-Gogary T., *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, **57**, 1405(2001).
- [4]. Sanz M., López J., Alonso J., *J. Phys. Chem. A*, **103**, 5285(1999).
- [5]. Onkenhout W., van Loon W., Buijs W., van der Gen A., Vermeulen N., *Drug metab. Dispos.*, **14**, 608(1986).
- [6]. Ritter C., Sperker B., Grube M., Dressel D., Kunert-Keil C., Kroemer H., *British J. Pharm.*, **137**, 1100(2002).
- [7]. Crispin X., Crispin A., de Jong M., Marciniak S., Osikowicz W., Jönsson S., Fahlman M., Kugler Th., van IJzendoorn L., de Voigt M., Salaneck W., *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **747**, V5.5.1(2003).
- [8]. Duff D., Baiker A., Edwards P., *Langmuir*, **9**, 2301(1993).
- [9]. Usón R., Laguna A., Vicente J., *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 353(1976).
- [10]. Gimeno M., Laguna A., *Gold Bulletin*, **32**, 90(1999).
- [11]. Leznoff D., Rancurel C., Sutter J., Rettig S., Pink M., Paulsen C., Kahn O., *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 3593(1999).
- [12]. Ahrens B., Jones P., Fischer A., *Eur. J. Inorg. Chem.*, **7**, 1103 (1999).
- [13]. Mohamed A., Abdou H., Irwin M., López-de-Luzuriaga J., Fackler J., *J. Cluster Sci.*, **14**, 253(2003).
- [14]. Usón R., Laguna A., *Organomet. Synth.*, **3**, 322(1986).
- [15]. Sun X., Dong S., Wang E., *Chem. Commun.*, 1182(2004).
- [16]. Shriver D., Atkins P., Langford C., *Química Inorgánica*, Ed. Reverté, Vol. 1, Barcelona, 353, 1998.

**E-mail:** charoflores@yahoo.es

# VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD PLASMÁTICA EN CONEJOS INDUCIDOS A UNA DIABETES ALOXÁNICA

## VARIATION OF PLASMATIC VISCOSITY IN ALLOXAN-INDUCED DIABETIC RABBITS

Gonzales Medrano, M. Fernando<sup>a</sup>, Infantas Mesías, Delia<sup>a</sup> y Sam Torres, Rosa<sup>b</sup>

### RESUMEN

Se investigó la variación de la viscosidad plasmática en conejos inducidos a una diabetes aloxánica. Adicionalmente, los valores de hematocrito, densidad plasmática y deformabilidad celular de glóbulos rojos fueron estimados. Los animales diabéticos presentaron pérdida de peso mientras que la densidad y viscosidad plasmática se incrementaron. Los valores de hematocrito no mostraron diferencias estadísticas significativas. Estos resultados sugieren que el incremento del valor de la viscosidad plasmática es un factor involucrado en la viscosidad sanguínea descrita para pacientes diabéticos con descompensación.

**Palabras clave:** Viscosidad plasmática, diabetes aloxánica, conejos.

### ABSTRACT

The variation of plasmatic viscosity in alloxan-induced diabetic rabbits was investigated. Additionally, hematocrit values, plasmatic density and red blood cell deformability were estimated. The diabetic animals showed loss weight whereas the density and viscosity of plasma were increased. The Hematocrit values did not show any significative statistical differences. These results suggest the increased level of plasmatic viscosity is an involucrated factor in the blood viscosity described for decompensated diabetic patients.

**Key Words:** Plasmatic viscosity, alloxan-diabetes, rabbits.

### INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus es un síndrome que manifiesta un trastorno metabólico relacionado a una hiperglucemia, consecuencia de una deficiencia en la secreción de insulina o en el efecto biológico de la misma, la cual daña muchos de los sistemas del cuerpo [1]. Desde el punto de vista epidemiológico, este trastorno metabólico se ha convertido en una enfermedad muy preocupante para la Organización Mundial de la Salud (OMS) debido a que se observa un fuerte crecimiento de personas que la padecen. Se calcula actualmente más de 170 millones de personas que sufren de diabetes en el mundo, y se prevé que este número se habrá duplicado para el año 2030 [2].

Los conejos han demostrado ser un buen modelo biológico para estudios experimentales con diabetes, debido a una respuesta muy similar a los humanos, aún más que en otros animales [3]. Las alteraciones existentes en animales con diabetes pueden ser muy graves e incluso fatales. La forma más común de monitorear este síndrome, es a través de la cantidad de glucosa en la sangre. Para cumplir nuestros objetivos, se realizarán mediciones de la viscosidad plasmática para determinar si existe una relación entre su resistencia al flujo y la diabetes.

Debido a que el grado de viscosidad sanguínea está determinado por la viscosidad plasmática, hematocrito, deformabilidad y agregación eritrocitaria [4], donde los parámetros más relacionados directamente son la viscosidad plasmática y el hematocrito. Además, han

sido descritas alteraciones en la microcirculación, mediante un daño vascular preferentemente en la membrana basal de los pequeños vasos, aumentando la producción de algunas glicoproteínas que pueden provocar engrosamiento secundario de la membrana basal. Por lo que la adherencia plaquetaria puede ser la causa de un aumento en la viscosidad plasmática [5]. Con la finalidad de determinar el causante de las variaciones en la viscosidad sanguínea descrita en conejos químicamente diabéticos, se hará uso de la medición de la viscosidad plasmática, hematocrito y un estudio de presencia o ausencia de deformabilidad celular.

Otros autores evaluaron la variación de la viscosidad sanguínea y plasmática en relación al grado de compensación metabólica en diabéticos, encontrando una notable viscosidad sanguínea en pacientes diabéticos no compensados sugiriendo su relación con ciertas propiedades de los glóbulos rojos como la flexibilidad de su membrana y por tanto su deformabilidad [6].

En el presente trabajo de investigación se planteó como objetivo general determinar la existencia de una variación de viscosidad plasmática en relación a la diabetes. Adicionalmente, la inducción de un cuadro de diabetes aloxánica estable en conejos, la evaluación de algunos parámetros reológicos sanguíneos en conejos normoglicémicos y conejos químicamente diabéticos y la evaluación del grado de relación de tres variables descritas por la literatura se ven alteradas en condiciones diabéticas fueron analizadas.

<sup>a</sup> Laboratorio de Fitoquímica, Universidad Nacional Agraria La Molina.

<sup>b</sup> Laboratorio de Microbiología y Parasitología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material Biológico

Se utilizó 7 conejos de raza Nueva Zelanda línea pura de ambos sexos previamente aclimatados, de 59 días y pesos entre los 1,995 Kg a 2,150 Kg. Se agruparon aleatoriamente y distribuidos al azar en 2 grupos. Se mantuvieron a condiciones naturales de humedad, temperatura con promedio de 27° C e iluminación de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad aproximadamente. Recibieron una dieta diaria de 150 g de alimento balanceado para conejos y agua *ad libitum*. Estudios previos no encontraron diferencias significativas entre animales machos y hembras en relación con la incidencia, evolución y severidad del síndrome diabético [1]. Se asumieron las demás variables constantes.

### Obtención de Muestras de Sangre

El manejo de los animales de laboratorio fue realizado bajo los lineamientos de bioética y recomendaciones para su utilización [7]. Los animales fueron sometidos a un ayuno previo de 20-21 horas y pesados en una balanza gravimétrica KERN 440-35N. 14 ml de sangre fueron extraídos a través de la vena marginal de la oreja exaltada con xilol, posteriormente mezclada con anticoagulante EDTA a 1-2mg/ml. Se separó el plasma sanguíneo por centrifugación a 3500 rpm por 35 minutos en una centrífuga Hettich Universal II y llevado a 4° C hasta su posterior utilización. Los valores de hematocrito fueron expresados en valor de porcentaje (%). Se realizó hemostasia en la zona de corte para evitar hemorragias.

### Inducción de diabetes

Se utilizó el aloxano como reactivo inductor de la diabetes por su capacidad necrótica sobre las células de los islotes de Langerhans (8,9). Se calculó la cantidad de reactivo necesario para la inducción de diabetes a una concentración final de 120 mg/ml. Se inyectó la solución de aloxano disuelto en 1 mL de suero fisiológico para mamíferos estéril (NaCl al 0,98%) por vía endovenosa (10). Se evaluó su condición antes de la inducción y 7 días después de la inducción diabética utilizando tiras de glucosa en un glucómetro comercial. La condición diabética fue considerada como tal para conejos con

concentraciones de glucemia en sangre mayores que 250 mg/dL.

### Medición de la viscosidad plasmática

Se determinó la viscosidad plasmática utilizando un viscosímetro capilar de Ostwald, medición que obedece a la ecuación expresada por Poiseuille (11). La medición de los valores se realizó en un baño maría a temperatura controlada de 39° C con muestras y viscosímetro previamente atemperadas por 10 minutos. Se midió el tiempo de flujo con 10 repeticiones y el valor fue determinado por el promedio aritmético de estos. Se determinó las densidades a condiciones controladas, expresándolas en Kg/m<sup>3</sup>.

La calibración del viscosímetro de Ostwald fue realizada utilizando los datos teóricos de la viscosidad y densidad del agua a 39° C, midiendo el tiempo de flujo de una muestra de agua bidestilada estéril. Los demás valores fueron considerados invariables, obteniéndose una constante de calibración para el viscosímetro a 39° C.

### Frotis sanguíneo y observación celular

Muestras frescas de sangre fueron utilizadas para realizar el frotis sanguíneo de los animales de experimentación. Se siguió el procedimiento descrito por Voigt (12). Los frotis, previamente secados, fueron llevados a un estereoscopio Nikon eclipse E200 para su evaluación y detectar posibles anomalías.

## RESULTADOS

Los conejos adquirieron una diabetes aloxánica estable. En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos para la medición de glucosa sanguínea como consecuencia de la inducción de diabetes. Consistentes variaciones se encontraron para los indicadores de ganancia de peso (figura 1A) y valores de densidad plasmática (figura 1C), demostrando diferencias significativas con una probabilidad del 5% utilizando la prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney para 2 muestras independientes. Contrariamente, no se obtuvieron diferencias significativas entre las medias de los valores de volumen celular aglomerado de ambos grupos (figura 1B).

Tabla 1: datos obtenidos al inicio (1) y 7 días después de la inducción de diabetes (2)

Grupo	Conejo	Peso 1	Peso 2	Glu 1	Glu 2	Hcto 1	Hcto 2
Control	A	2,090	2,620	80	105	46,428	50,000
Control	B	1,995	2,500	84	109	46,428	45,710
Control	C	2,150	2,635	75	111	45,714	43,570
Diabetes	D	2,005	2,220	84	498	44,643	44,286
Diabetes	E	2,090	2,405	93	*	44,643	*
Diabetes	F	2,140	2,350	66	437	44,643	43,570
Diabetes	O	2,140	2,350	108	327	46,428	44,286

\* No se pudo determinar los valores por muerte del animal.

La prueba estadística no paramétrica de Mann Whitney para 2 muestras independientes con una probabilidad del 13% mostró diferencias significativas entre las medias de los valores de viscosidad plasmáticas para el grupo control en contraste con el grupo diabético. Se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon para 2 muestras relacionadas con una probabilidad del 11% para

determinar la existencia de variación entre las medianas de la viscosidad plasmática en conejos antes y después de ser inducidos a una diabetes aloxánica. Los resultados indicaron diferencias significativas, confirmando un incremento de la viscosidad plasmática en conejos inducidos a una diabetes aloxánica (figura 1D).

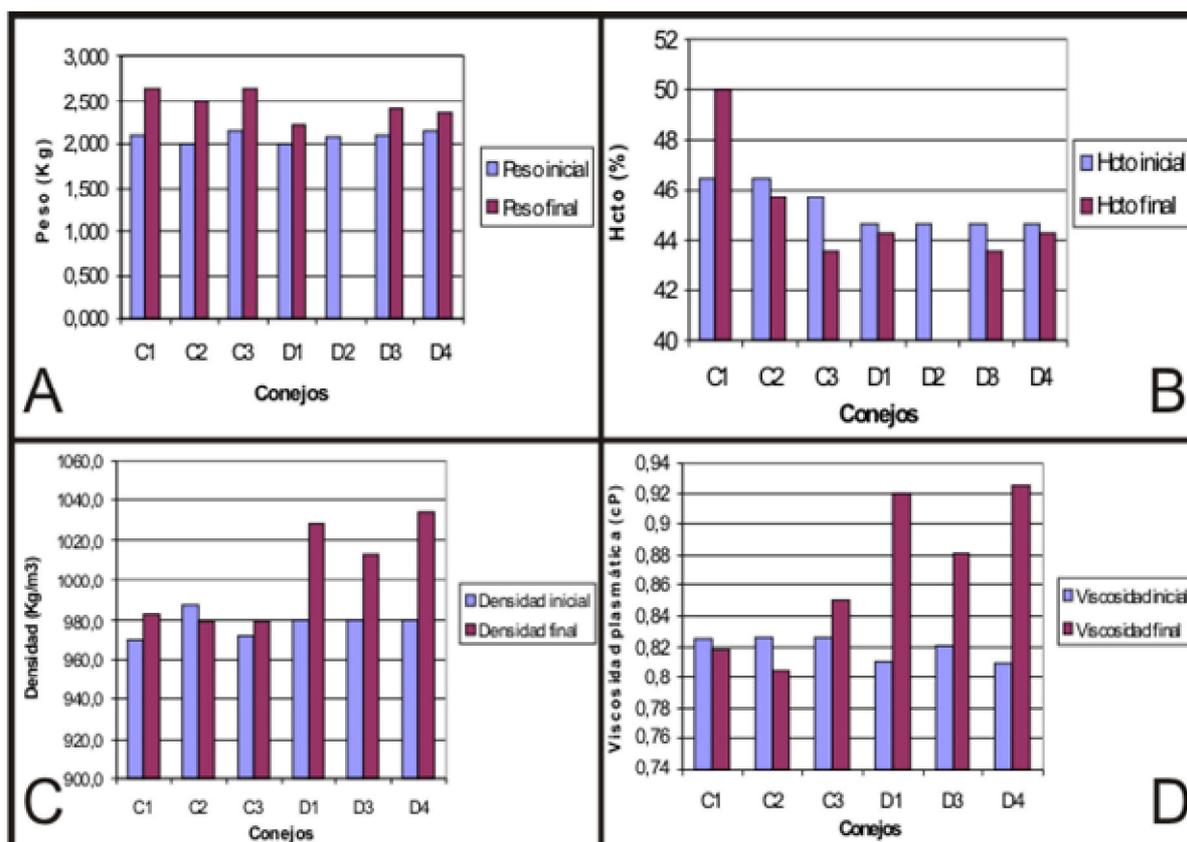


Figura 01: Comparación del peso (A), hematocrito (B), densidad (C) y viscosidad (D) antes y después de la inducción de la diabetes.

## DISCUSIONES

En condiciones diabéticas los individuos no pueden hacer un uso eficiente de la glucosa sanguínea por falta de insulina, que es la responsable del paso de la glucosa al interior de la célula, en consecuencia eliminándola por la orina (glucosuria). Esta deficiencia promueve la movilización de las grasas y un exagerado catabolismo de los ácidos grasos con un aumento de cuerpos cetónicos y triglicéridos (13), explicándose así las diferencias en la ganancia de peso entre los 2 grupos.

El estrés puede ser un causante de un incremento de hematocrito por la liberación de células sanguíneas del bazo al torrente sanguíneo, sin embargo en casi todos los individuos se ha presentado una ligera disminución, aunque no significativa, la cual puede ser explicada debido a que todos los conejos fueron sometidos a una sangría de alrededor de un 12% de volumen sanguíneo total y esto puede ser causa de un ligero cuadro de anemia (12).

Se cree que la causa del incremento de la densidad plasmática en conejos diabéticos puede deberse a la producción de ciertas proteínas de bajo peso molecular, por lo que se recomienda realizar estudios posteriores orientándolos hacia estos parámetros.

Las variaciones en la viscosidad plasmática nos sugieren que esta se ve incrementada en condiciones diabéticas, donde la viscosidad sanguínea se ve alterada también por los valores plasmáticos. En contraste con otros autores quien sugiere esta variación en la viscosidad sanguínea se deben exclusivamente al componente hemático de la elasticidad de la membrana eritrocitaria (6). Aún se sigue evaluando esta controversia, debido a los resultados confrontados por otros autores. Estudios posteriores deberían direccionar las investigaciones a la evaluación de concentraciones proteicas en el plasma sanguíneo bajo estas condiciones.

Nosotros sugerimos que este incremento de la viscosidad plasmática puede ser causado por proteínas de bajo peso molecular, además de determinadas  $\alpha$ -glicoproteínas,  $\beta$ -glicoproteínas, fibrinógeno, proteínas del complemento entre otras descritas por estudios previos (6), las mismas que evidenciaron un aumento de densidad.

Valores de la concentración de glucosa tomados 33 días después de la inducción de diabetes mostraron una disminución considerable lo que puede ser causado por un reajuste metabólico del animal con tendencia a normalizarse. Sin embargo, la condición diabética fue mantenida, debido a que las concentraciones de glucosa

que se midieron estuvieron dentro del rango diabético (262-337 mg/dL).

## CONCLUSIONES

El viscosímetro capilar de Ostwald ha representado una buena herramienta para evidenciar diferencias significativas entre medidas de viscosidad plasmática para conejos sanos y diabéticos.

De los 3 factores que han sido evaluados (hematocrito, viscosidad plasmática y deformabilidad celular), los cuales influyen directamente sobre la variación de la viscosidad sanguínea, la viscosidad plasmática ha demostrado ser la más relacionada en condiciones de diabetes y una variable que influencia el aumento de la viscosidad sanguínea reportada en pacientes diabéticos no compensados (6).

El reactivo diabetogénico Alozano ha demostrado ser un buen inductor de un cuadro diabético estable en conejos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Juan Juscamaita Morales por su invaluable asesoría, a la Ing. Gloria Palacios Pinto por su apoyo en el manejo animal y al estudiante de Biología Joel Rosales Manta por su constante asistencia durante el desarrollo de la investigación

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Ramos H, Méndez J. Diabetes Mellitus experimental. *Ciencia Veterinaria*. 1994; 6(12): 347-377
- [2]. Organización Mundial de la Salud. 2005. Día Mundial de la Diabetes. Comunicado de prensa conjunto OMS/FID. [www.who.int](http://www.who.int) (acceso a la página: diciembre 12, 2007)
- [3]. Fleitas A, Simón R, Almeida G, Quintela A, Alfonso M. Modelo Experimental de Diabetes en Conejos. *Revista Cubana de Angiología y Cirugía Vascular*. 2000; 1(1): 10-14
- [4]. Reinhart W. Molecular biology and self-regulatory mechanism of blood viscosity: A review. *Biorheology*. 2001; 38(2-3): 203-212.
- [5]. Farrel A. Acquired perforating dermatosis in renal and diabetic patients. *The Lancet*. 1997; 349: 985-986.
- [6]. Pola P, Savi L, Serricchio M, Tondi P, Capaldi L. Variaciones de la viscosidad sanguínea y plasmática en relación al grado de compensación metabólica en la diabetes. *Angiología*. 1981; 33(3): 129-143.
- [7]. Morton D, Abbot D, Barclay R, Close B, Ewbank R, *et al*. Renal of blood from laboratory mammals and birds. *Laboratory Animals*. 1993; 27(1): 1:22.
- [8]. Szkudelski T. The Mechanism of Alloxan and Streptozotocin Action in B Cells of the Rat Páncreas. *Physiological Reserch*. 2001; 50(6): 536-546.
- [9]. Rabinovitch A, Suárez-Pinzón W. Cytokines and Their Roles in Pancreatic Islet  $\beta$ -Cell Destruction and Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *Biochemical Pharmacology*. 1998; 55(8): 1139-1149.
- [10]. García M. Influencia de la diabetes experimental en respuestas serotoninérgicas a nivel cardiovascular y renal (Tesis Doctoral). Universidad de Salamanca, Facultad de Farmacia. 2000.
- [11]. Maron S, Pruton C. *Fundamentos de Físicoquímica*. Editorial Limusa. México. 1973. pp. 66-71.
- [12]. Voigt G. *Conceptos y técnica shematológicas para técnicos veterinarios*. Edición española. Editorial ACRIBIA S.A. España. 2000. pp. 144.
- [13]. Narayan A, Kumar R, Watal G. Hypoglycemic effect of *Murraya koenigii* on normal and alloxan-diabetic rabbits. *Journal of Ethnopharmacology*. 2005; 97: 247-251.

**E-mail:** fgonzalesm@gmail.com

# EXPERIMENTO DE LIBERACIÓN ISOTÓPICA MARCADA (LR) Y LA BÚSQUEDA DE VIDA EN MARTE

## LABELED RELEASE EXPERIMENT (LR) AND THE SEARCH FOR LIFE ON MARS

Julio E. Valdivia-Silva<sup>a,\*</sup>, Paola Medina<sup>a</sup>, Aura Palma<sup>a</sup>, Bertha Torres<sup>a</sup>, Rafael Navarro-González<sup>a</sup>

### RESUMEN

Las misiones Vikingo en los 70's mostraron que el suelo marciano presentaba tres características importantes: ausencia de vida, ausencia de material orgánico, y presencia de uno o varios oxidantes altamente reactivos. Esta conclusión fue realizada gracias a cuatro experimentos que iban a bordo, uno de los cuales se denominó Liberación Isotópica Marcada (LR). En este experimento la liberación de CO<sub>2</sub> fue monitoreada luego de la adición de nutrientes marcados isotópicamente con Carbono-14 a muestras del suelo marciano. El presente trabajo resume los resultados de este experimento encontrados por la sonda Vikingo y compara los resultados con otros realizados en suelos terrestres análogos a Marte.

**Palabras clave:** Misión Vikingo, Búsqueda de vida en Marte, Astrobiología, Experimento de Liberación Marcada.

### ABSTRACT

The Viking mission at the 70's showed the Martian soil to have three important characteristics: absence of life, absence of organic material and the presence of one or more highly reactive oxidants. This conclusion was made due to four experiments on board of Viking spacecraft, one of whom was named Labeled Release Experiment (LR). In this experiment gas evolution was monitored after the addition of nutrients <sup>14</sup>C-labeled to Martian soils. The present work summarizes the results found by the Viking and compares these data with others made in terrestrial Mars-like soils.

**Key words:** Viking mission, Search of Life on Mars, Astrobiology, Labeled Release Experiment.

### INTRODUCCIÓN

La única misión espacial, hasta la fecha, diseñada para la búsqueda de evidencia pasada o presente de vida en el planeta Marte ha sido la Misión Vikingo en la década de los años 70's. Dicha misión consistió en dos naves compuestas por un orbitador (VO) y un explorador (VL) que fueron lanzadas el 20 de agosto y 09 de setiembre de 1975 y que "amartizaron" en 2 áreas ubicadas en la parte meridional del planeta el 20 de julio y el 03 de setiembre de 1976 respectivamente [1]. El VL-1 quedó localizado en la zona denominada Chrysie planitia y el VL-2 en la región Utopia planitia a miles de kilómetros del primero.

Los exploradores (VL), además de llevar equipos para estudios espectrográficos y atmosféricos, tenían a bordo instrumentos diseñados para investigar la presencia de rastros de vida en el regolito de la superficie. Cuatro experimentos estaban enfocados para este punto. El primero, "químico", consistía de un pirolizador acoplado a un cromatógrafo de gases con espectrómetro de masas (pyr-GC-MS) diseñado para detectar material orgánico, y los otros tres, "biológicos", diseñados para medir la actividad metabólica y diferenciar si ésta era por actividad física o química [2].

Sin embargo, los resultados del Vikingo fueron dudosos y contradictorios en tres aspectos. Primero, la ausencia de material orgánico en niveles de partes por billón (ppb), evaluado por el Pyr-GC-MS [3]. Segundo, la rápida liberación de oxígeno molecular en niveles cercanos a 1  $\mu$ mol/g, cuando las muestras de suelo

fueron expuestas a vapor de agua en el experimento de intercambio de gases (GEx) [4]. Tercero, los nutrientes marcados isotópicamente adicionados al suelo fueron consumidos como si algún organismo o varios hubieran estado presentes en el suelo. Esto último durante el experimento de liberación marcada (LR) [5].

La aparente contradicción de los experimentos biológicos con los resultados del experimento químico, fueron debatidos durante mucho tiempo, concluyendo finalmente que la reactividad del suelo marciano era debida a la presencia de uno o más oxidantes reactivos y la ausencia de orgánicos se explicaba por la alta oxidación debida a la presencia de dichos oxidantes y/o por la alta radiación UV [6,7].

En este breve trabajo evaluamos los resultados encontrados en la misión Vikingo con respecto al experimento de Liberación Isotópica Marcada (LR) y realizamos algunas comparaciones con experimentos posteriores realizados en suelos terrestres análogos a Marte .

### METODOLOGÍA

#### Datos de la Misión Vikingo

Los datos del experimento LR realizados por el Vikingo fueron obtenidos del NASA Planetary Data System [5]. Los datos contienen las cuentas registradas por el detector másico en función del tiempo, que resultaron de la presencia de <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> en la celda de muestra. Un factor de conversión de 517 cuentas/nmol del carbono marcado

<sup>a</sup> Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

fue usado para calcular el total de nanomoles de  $^{14}\text{CO}_2$  presente en la celda [5]. La liberación de  $\text{CO}_2$  de las muestras del Vikingo fueron comparadas a otros suelos en nanomoles producidos por gramo de muestra. Para estimar el peso de las muestras Vikingo ( $0.5\text{ cm}^3$ ) se usó la densidad de  $1.3\text{g/cm}^3$  [4].

### Muestras de suelos

Las muestras de suelo corresponden a 2 zonas cercanas al área de Yungay, localizadas en el desierto de Atacama al norte de Chile, y que ha sido considerada un análogo a los suelos marcianos [7,8]. Las coordenadas de los puntos son los siguientes: S  $24^\circ 5' 23.4''$ , W  $70^\circ 00' 24.5''$  y S  $23^\circ 53' 12.7''$ , W  $71^\circ 58' 3.5''$ . Las muestras de suelo fueron colectadas de la superficie (5cm). Aproximadamente 1 gramo fue pesado en una balanza portátil e introducido en viales de 10cc estériles y sellados inmediatamente con una septa.

Adicionalmente se compararon los resultados obtenidos anteriormente por Navarro-Gonzalez et al., y Quinn et al, de muestras localizadas en zonas muy cercanas a la zona [7,9].

### Sustratos marcados isotópicamente

Para el presente trabajo se utilizó Formato de Sodio marcado con Carbono-13 (99+ atom% IsoTec Inc.). Las soluciones fueron preparadas en una campana de flujo laminar y los utensilios autoclavados. Agua esteril y filtros de  $0.2\ \mu\text{m}$  fueron usados para introducir la solución en los viales.

### Simulación del Experimento de Liberación Marcada (LR) realizada por el Vikingo.

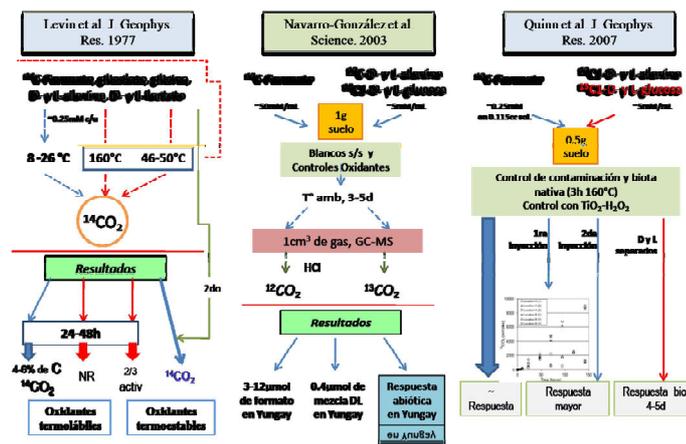
Las muestras de suelo fueron mojadas con 1cc de solución  $0.25\text{ mM}$  de Formato de Sodio- $^{13}\text{C}$ . La oxidación del Formato a  $^{13}\text{-CO}_2$  fue monitoreado por una jeringa de headspace que aspiraba  $150\ \mu\text{L}$  de gas producido en los viales e inyectada en Cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) (Varian 4000). Se monitoreó el ion 45 correspondiente al  $^{13}\text{-CO}_2$ . Se corrigió la abundancia natural del ion 45 con la cantidad de ion 44 (1.1%).

Los sustratos utilizados en el experimento del Vikingo fueron una mezcla de 7 nutrientes marcados a concentraciones de  $0.25\text{ mM}$  cada uno: formato de sodio, D-alanina, L-alanina, D-lactato, L-lactato, glicina y glicolato de calcio [10,11]. Sin embargo, se sugirió que la liberación inicial de  $\text{CO}_2$  en el experimento resultó de la descomposición del formato, dado que correspondía exactamente a la cantidad de carbono- $^{14}\text{C}$  adicionado en la solución [4,12].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El experimento de LR en la misión Vikingo fue diseñado por Levin y col., y su principal objetivo era determinar la presencia de uno o varios organismos capaces de oxidar los nutrientes suministrados al suelo y llevarlos a  $\text{CO}_2$ , como la mayoría de organismos vivos en la Tierra. Dado que la atmósfera marciana es más del 98%  $\text{CO}_2$ , es que los nutrientes suministrados debían estar marcados con algún isótopo estable.

La metodología y los resultados globales del Vikingo y de otros experimentos similares son resumidos en la Figura 1.



**Figura 1: Experimento de Liberación Isotópica Marcada (LR).** El experimento llevado a cabo por el Vikingo fue diseñado por Levin y col., mientras que experimentos similares en suelos análogos fueron llevados a cabo por Navarro-Gonzalez y col., y recientemente por Quinn y col.

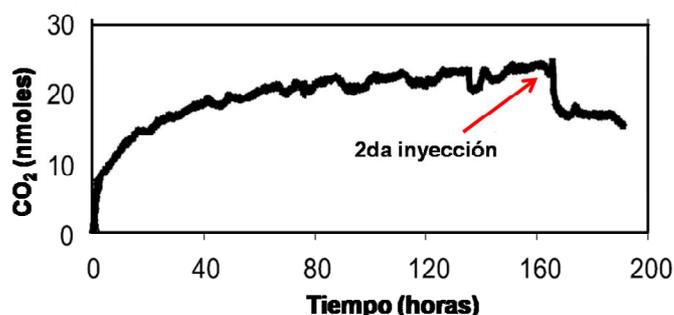
En la misión Vikingo, el  $^{14}\text{-CO}_2$  fue liberado en dos momentos, el primer momento denominado liberación rápida fue en las primeras 24 a 48 horas y correspondía entre el 4 a 6% de todo el carbono administrado en la solución. Curiosamente dicha cantidad corresponde al Formato, por lo que se sugirió que era el sustrato susceptible a descomposición. El segundo correspondía a un proceso lento y constante.

Dado que la misión Vikingo podía calentar la muestra antes de la administración de nutrientes, se elevó la temperatura a  $160^\circ\text{C}$  y a  $50^\circ\text{C}$  con la intención de evaluar si esto afectaría al proceso de oxidación y descartar así la presencia de organismos. Curiosamente la elevación a  $160^\circ\text{C}$  eliminó la liberación inicial de  $\text{CO}_2$  pero no la segunda, y a  $50^\circ\text{C}$  la primera se vio reducida en un 30% aproximadamente.

Una segunda inyección de solución fue administrada en orden de evaluar si la oxidación se debía a una acción microbiológica, dado que a más sustrato el proceso debía presentar otro momento de liberación rápida. La respuesta a esta segunda inyección fue inesperada, dado que no se observó ningún incremento en la liberación de  $\text{CO}_2$  y por el contrario hubo una abrupta caída (~30%) [13] (Figura 2).

Los resultados del Vikingo concluyeron que el fenómeno no podía deberse a un fenómeno biológico y sugirieron una serie de propuestas abióticas. Finalmente fue aceptado la existencia de al menos 2 tipos de oxidantes, uno termolábil altamente reactivo y otro termoestable (Figura 1), al parecer la actividad del termolábil se "agotaba" dado que no había un nuevo incremento. El decaimiento ante la segunda inyección fue atribuida al ingreso del  $\text{CO}_2$  como ácido carbonico- bicarbonato a la solución debido al pH básico. Oyama y col., [4] atribuyeron que la asimilación del  $\text{CO}_2$  fue debido a la presencia de iones hidroxilo formados por el superóxido y el agua. Aunque componentes ácidos pueden estar

presentes en los suelos marcianos, las soluciones acuosas equilibrarían el pH a ligeramente básico.



**Figura 2: Liberación de CO<sub>2</sub> por el Vikingo.** En las primeras 24 a 48 horas se observa la rápida liberación de CO<sub>2</sub> seguida por una meseta de liberación lenta. Luego de la segunda inyección de nutrientes se observa una caída importante.

A diferencia del experimento del Vikingo, Navarro-González y col., [7] modifican la técnica para demostrar que el suelo proveniente de la zona de Yungay en el desierto de Atacama al norte de Chile, tenía características oxidantes similares a las encontradas en Marte. La técnica difirió del Vikingo en los siguientes aspectos: 1) que la medición de gases liberados fue realizado solamente una vez a los 3-5 días de la inyección inicial y 2) que la cantidad de nutrientes fue mayor en 2 a 3 órdenes de magnitud a la usada por el Vikingo (0.25 mM versus 50 mM de Formato).

Los resultados mostraron entre 3 a 12  $\mu\text{mol}$  de CO<sub>2</sub> provenientes del Formato, indicando actividad oxidativa importante. Sin embargo, para diferenciar si éste proceso se debía a efectos biológicos o abióticos se adicionó 2 mezclas de enantiómeros marcados a muestras separadas del mismo suelo. Una de las mayores interrogantes del origen de la Vida es la "homoquiralidad", dado que curiosamente los organismos vivos eligieron las formas D-carbohidratos y L-aminoácidos para su metabolismo, mientras que las formas L y D respectivamente son muy poco asimilables [14]. Es así que si el proceso es biológico, al colocar mezclas de D- carbohidratos y L aminoácidos debería existir una oxidación preferencial evidenciada con mayor liberación de CO<sub>2</sub>, frente a la mezcla de sus enantiómeros. En cambio si el proceso fuera abiótico no existiría tal preferencia por ninguna de las mezclas adicionadas.

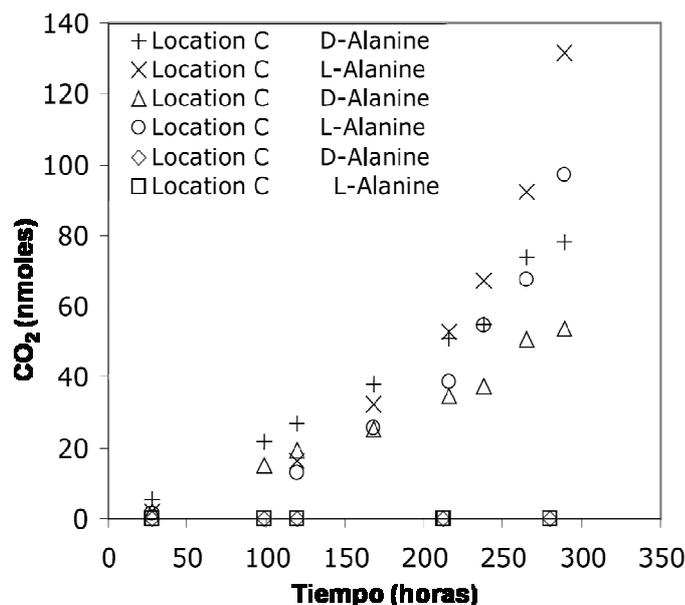
De manera interesante los resultados mostraron que hubo una liberación de 0.4  $\mu\text{mol}$  de ambas mezclas indistintamente evaluadas a los 3-5 días de incubación, lo cual sugería fuertemente una oxidación abiótica. Dado que los procesos biológicos dominan la oxidación en cualquier zona de la Tierra, estos resultados mostraban el único lugar sonde este proceso era inverso. Sin embargo, los resultados presentados por Quinn y col., [9] y nuestros resultados actuales, demostraron que algunos procesos no estaban bien simulados en el experimento.

Nuestros resultados en la zona de Yungay fueron coincidentes con los descritos por Quinn y col., observando una elevación en las primeras 48 horas y dependiendo de las muestras y el pH del suelo una

liberación constante o un decremento por ingreso a la solución. La segunda inyección de nutrientes produjo un incremento de liberación de CO<sub>2</sub> a diferencia de lo encontrado en el Vikingo. Estos datos indican la existencia de un oxidante altamente reactivo, sin embargo también se observa una probable oxidación de tipo biológico dado el aumento en la liberación tras la segunda inyección.

El uso de enantiómeros también fue monitoreado en una cinética de liberación. Lo que se observó fue que hasta el 5to día la liberación de ambos enantiómeros era similar sin indicios de una preferencia biológica, sin embargo al 7mo día los enantiómeros D-carbohidratos y L-aminoácidos fueron los que mostraron mayor oxidación a CO<sub>2</sub>, sugiriendo mayor actividad biológica.

Estos datos permiten deducir que la actividad oxidativa pudo estar dominada por oxidantes del suelo hasta que la biológica, gracias a los nutrientes, alcanzó un nivel detectable. Curiosamente los enantiómeros "no metabolizables" también mostraron alta oxidación (Figura 3). Recientemente se ha demostrado que los organismos también pueden metabolizar de manera mucho más lenta los enantiómeros L-carbohidratos y D-aminoácidos [Comunicación interna con H. Sun y col.], además no se descarta la presencia de un oxidante abiótico de tipo catalítico.



**Figura 3: Liberación de 13-CO<sub>2</sub> por enantiómeros de Alanina.** El enantiómero L, presenta mayor oxidación sugiriendo un proceso biológico.

## CONCLUSIONES

Los resultados permiten concluir que 1ro, existen oxidantes no biológicos en suelos análogos de Yungay dado el patrón de descomposición de enantiómeros L y D en los primeros días de liberación; 2do, aparece un incremento en etapas finales de la degradación de L-alanina y D-glucosa, consistente con la existencia de bajos niveles de microorganismos en la zona; 3ro, la liberación del 13-CO<sub>2</sub> del Formato reproduce la cinética observada en el Vikingo; 4to, se observó un incremento de 13-CO<sub>2</sub> liberado del Formato inyectado por segunda vez que es consistente a actividad biológica a diferencia

del Vikingo; 5to, el calentamiento previo con 160°C eliminó la descomposición biológica y no biológica de la glucosa, alanina y formato, a diferencia del Vikingo donde sólo se eliminó la liberación rápida del CO<sub>2</sub>; y 7mo, independientemente de los efectos fotoquímicos presentes, los mecanismos de descomposición de orgánicos adicionados a Yungay son diferentes de los procesos observados por el Vikingo.

Aunque estos resultados muestren una actividad diferente dado que existen microorganismos, el suelo de esta zona es muy interesante como antecedente para otros estudios similares en otros suelos análogos y para el diseño de nuevos experimentos que busquen detectar actividad biológica en la superficie y subsuelo en Marte.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto “Busqueda de Vida en Marte” a cargo de Ames Research Center, NASA, EEUU, y colaboradores del Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, UNAM, México. Agradecemos al Dr. Modesto Montoya que con su actividad constante e incansable, convoca investigadores peruanos para incentivar a nuestra juventud en la investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Viking Project we site: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/viking.html>.
- [2]. Biemann, K., and J. M. Lavoie, *J. Geophys. Res.*, 84, (1979) 8385– 8390.
- [3]. K. Biemann et al., *J. Geophys. Res.* 30, (1977) 4641.
- [4]. V. I. Oyama, B. J. Berdahl, *J. Geophys. Res.* 82, (1977) 4669.
- [5]. G. V. Levin, P. A. Straat, *J. Geophys. Res.* 82, (1977) 4663.
- [6]. C. P. McKay et al., *Planet. Space Sci.* 46, (1998) 769.
- [7]. Navarro-González, R., et al. *Science*, 302, (2003) 1018–1021.
- [8]. C. P. McKay et al., *Astrobiology* 3, (2003) 293.
- [9]. Quinn et al., *J Geophys Res.* 112 (2007) G04S18.
- [10]. Levin, G. V., P. A. Straat, *Origins Life*, 76, (1976) 293– 311.
- [11]. Levin, G. V., P. A. Straat, *Science*, 194, (1976) 1322– 1329.
- [12]. C.A: Ponnampereuma, et al., *Science*, 197, (1977) 455– 457.
- [13]. Klein, H. P., *Rev. Geophys.*, 17 (1979)1655–1662.
- [14]. D. Cline, *European Review* (2005), 13 : 49-59.

**E-mail:** jvsilva@nucleares.unam.mx

# FIABILIDAD DE UN NUEVO SISTEMA PARA LA DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL COLOR DENTAL UTILIZANDO IMAGENOLÓGÍA DIGITAL

Rony Christian Hidalgo-Lostaunau<sup>a</sup>, Sandra Tatiana Córdova-Aliaga<sup>b</sup>, Iván Dante Huamantumba-Espinoza<sup>c</sup>.

## RESUMEN.

El color dental es apareado con guías de color para determinar una referencia que permita su descripción y comunicación en procedimientos clínicos donde se empleen materiales dentocoloreados. Objetivo: establecer la fiabilidad de un nuevo sistema de registro y análisis del color dental empleando imágenes digitalizadas, un cubículo fotográfico con iluminación ad hoc y un software de edición fotográfica, con la guía de color Vitapan 3D Master. Métodos: fueron fotografiadas con una cámara digital a 5x las 5 primeras cuentas de cada nivel de claridad de la guía Vitapan 3D-M 6 veces sucesivas cada una, sin retirar la cuenta y retirando la cuenta entre toma y toma, empleando un cubículo fotográfico iluminado con fluorescente daylight (2350lm, IRC >95, 5400°K); registradas en formato TIFF, adaptadas en Adobe Photoshop 7.0, para ser analizadas por el histograma del color del sistema CIELab que admite este software resultados: los márgenes de error al realizar tomas continuas es de 1.52 a 3.76, y discontinuas es de 1.50 a 3.78. No se hallaron diferencias significativas al comparar ambos métodos en los 5 niveles de L\* (Wilcoxo  $p \geq 0.138$ ), Blancura (Wilcoxo  $p \geq 0.116$ ), tampoco  $\Delta E$  superiores a 0.84 Conclusión: la semejanza en el margen de error otorga fiabilidad al método; la validez del sistema por su concordancia en el análisis CIELab de las imágenes digitales de las cuentas de color, permiten sugerirlo sistema como un de alta reproducibilidad para la cuantificación objetiva del color dental in vitro, a ser empleado en la docencia e investigación del color dental y sus implicancias.

**Palabras clave:** análisis del color, estudio de validación, fiabilidad, CIELab, fotografía digital, imagen digital

## ABSTRACT

The dental color is matched up with color guides to determine a reference that allows its description and communication in clinical procedures where tooth-colored materials are used. OBJECTIVE: To establish the reliability of a new system for registration and analysis of the dental color using digitized images, a photographic cubicle with illumination ad hoc and a software of photographic edition, with the color guide Vitapan 3D Master. METHODS: The first 5 bills of each level of clarity of the guide Vitapan 3D-M were photographed with a digital camera at 5x, in 6 successive times each a, without moving away the bead and moving away the bead among picture and picture, using an illuminated photographic cubicle with fluorescent daylight (2350lm, IRC >95, 5400°K); registered in format TIFF, adapted in Adobe Photoshop 7.0, to be analyzed by the histogram of the color of the system CIELab that admits this software. RESULTS: The error margins to the Continuum takeovers is of 1.52 to 3.76 3.76, and discontinuous it becomes of 1.50 to 3.78. Does it not find significant differences to the comparing both methods in L\* levels (Wilcoxo  $p \geq 0.138$ ), Whitenig (Wilcoxo  $p \geq 0.116$ ), neither  $\Delta E$  superior to 0.84. CONCLUSION: The similarity in the error margin grants reliability to the method; The validity of the system for his concordance in the analysis CIELab of the digital images of the color beads, allows to suggest it as a reliable instrument of high reproducibility in order to the dental color's objective quantification in vitro, to be employee in the teaching and investigation of the dental color and his sequels.

**Key words:** shade analysis, Validation Studies, Reliability, CIELab, digital photograph, digital imaging.

## INTRODUCCIÓN

El apareamiento o emparejamiento del color dental con una de las cuentas o muestras de color de las guías de color comerciales es un procedimiento empírico y subjetivo en odontología. Existe una gran cantidad de investigaciones que demuestran la variabilidad en la selección visual de una cuenta de la guía de color, sea intra-operador como inter-operador o [1-5] por las diversas condicionantes y/o variables que existen en el fenómeno de la percepción humana [5-11].

Siendo el color, el resultado del fenómeno visual de percepción de longitudes de onda de determinados nanómetros dentro del espectro visible de radiaciones, es susceptible de ser medido, distinguible y determinado cuantitativamente, si se emplea aparatología que descomponga la información en valores numéricos [12]. Las unidades de medida del color corresponden a un

sistema desarrollado por la Comisión Internacional de la Iluminación en 1976, en el cual el color ha sido entendido dentro de sus dos características principales que le determinan, que son la luminosidad y la cromaticidad, y a su vez corresponden al principio de medición [12,13].

La luminosidad corresponde a una escala de grises que varía entre el blanco y negro en una infinita escala de matices, y es designada como L\* y la cromaticidad (que a su vez involucra el tono y su saturación o intensidad) está designada como a\* y b\*, donde cada uno de ellos aporta a la sensación de luminosidad en forma independiente y los efectos se suman. El eje b\* representa la variación amarillo-azul y el eje a\* representa la variación rojo-verde. Donde L\*, a\*, y b\* adquieren valores que están en el rango de 0 a 255 computacionalmente, empleando el perfil 220 generic PC -D65 Trinitron. Estos valores representan numéricamente las propiedades coloridas del objeto y

<sup>a</sup> Cirujano Dentista, Diplomado en Educación de la Universidad Particular Ricardo Palma. Docente del Curso de Actualización en Odontología Restauradora y Estética de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

<sup>b</sup> Cirujano Dentista, miembro del Departamento de Estomatología del Hospital Carlos Alcántara Butterfield, EsSalud; La Molina, Lima – Perú.

<sup>c</sup> Cirujano Dentista, Licenciado en Estadística de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima – Perú.

permiten la realización de análisis matemático – estadísticos. Dentro del método de medición para recoger estas características es frecuente el empleo de espectrofotómetros, colorímetros, espectrocolorímetros y espectralradiómetros [4,12-19], cuando en el procedimiento de medición se obtiene la información directamente del objeto coloreado; sin embargo su eficacia y repetibilidad de resultados han sido cuestionados [19-22], además que representan infraestructura y tecnología con la que muchos investigadores y/o instituciones o universidades no cuentan.

Con el desarrollo reciente de la investigación en imagenología digital y su introducción en la profesión estomatológica, como una alternativa recientemente se han empleado imágenes digitalizadas de los especímenes dentarios y/o de las guías de color para ser analizadas mediante algún software que determine las características colorimétricas numéricamente de una manera indirecta [23–26], estos métodos innovadores sugieren también un acercamiento reciente a la objetividad de las investigaciones referentes al color sin contar con aparatología sofisticada.

Ya que la existencia del color implica diversas variables, para que pueda ser medido, las variables han de ser controladas lo mejor posible, estableciendo un marco de referencia normalizado [26-32].

El primer estudio en estomatología en el que se emplea un cubículo como parte de un sistema de evaluación del color de materiales fue el de: Over LM et al., en 1998 (Indiana University School of Dentistry, Indianapolis, USA), donde fueron registrados por medio de un colorímetro Minolta los valores CIE Lab de siliconas para prótesis faciales y luego comparados los valores con el color de piel facial de 15 sujetos blancos. El cubículo para el registro del color de la silicona fue diseñado siguiendo parámetros luminotécnicos y pintado interiormente usando un gris de valor 8 según el sistema de Munsell. Encontraron que hubo una alta correlación en la dimensión de  $b^*$  para grosores de silicona de 1 a 4mm, y para grosores de 6 a 10mm la correlación alta fue en  $L^*$ . Concluyendo que las muestras de silicona de 6, 8 y 10mm aparearon muy bien con el color de piel de los pacientes, y el estudio demostró que las muestras de silicona pueden ser duplicadas con éxito si una buena medición del color de la piel del paciente es obtenida [28].

En 1999, Bentley C et al., (University of North Carolina at Chapel Hill, School of Dentistry, USA) desarrollaron la idea de fotografiar cuentas de guías de color y casos clínicos, empleando fotografía de diapositivas, empleando la iluminación del flash y el proceso normal de revelado, para luego escanear y digitalizar las imágenes obtenidas, con el fin de comparar y monitorear los cambios sucedidos en procesos de clareamiento dental, empleando el software Adobe Photoshop. Los resultados de sus análisis mostraron que el canal azul del RGB, fue el mejor descriptor del brillo, para incrementos de claridad a oscuridad de los matices en cada serie de color (A a la D). Concluyeron que el análisis computarizado de las imágenes fotográficas provee un índice del brillo que es reproducible de imagen

a imagen y puede ser utilizado para monitorear la efectividad de los clareamientos dentales [24].

En mayo del 2004, Cal E et al., del Departamento de Prostodoncia de Universidad de Ege (Izmir, Turquía) publicaron una técnica digital para evaluar la fiabilidad de las guías de color, fotografiando bajo luz de día y bajo condiciones de estudio, con una cámara digital y guardando las imágenes en formato TIFF. El análisis del color fue llevado a cabo con el Adobe Photoshop 4.0 y fueron medidos los niveles de RGB y L de cada cuenta de guía de colores. Los resultados mostraron que las imágenes tomadas en luz de día diferían significativamente de aquellas tomadas bajo condiciones de estudio, y lo que fue significativamente diferente entre cada cuenta de las guías de color fueron L y B; concluyeron que cuando las condiciones del entorno permanecen constantes, el análisis con Adobe Photoshop 4.0 puede ser usado para analizar el color de las imágenes [26].

Por lo mencionado anteriormente, creemos que es pertinente desarrollar una sistema fiable que reúna principios colorimétricos y de luminotecnia; que además de no utilizar aparatología especializada, permita lograr cuantitativamente la determinación de los colores de las guías de color dental o especímenes dentarios, de manera que pueda ser empleado posteriormente en la investigación y la enseñanza de cuestiones referentes al color dental en nuestro medio. Nuestro objetivo será establecer la fiabilidad del sistema para la determinación y análisis del color dental empleando cuentas de la guía de color VITAPAN 3D MASTER, probando la repetibilidad de los métodos de obtención de imágenes digitales cuantitativamente por medio de un análisis de los histogramas del color y determinar los márgenes de error de los métodos de obtención de imágenes al comparar los valores de  $L^*$  (luminosidad) para las 5 cuentas de la guía de color VITAPAN 3D MASTER.

## **METODOLOGÍA**

El sistema mencionado se vale de tres elementos importantes. Primero, la tecnología fotográfica digital, que permite ingresar directamente la imagen obtenida por una cámara fotográfica digital a la computadora para ser susceptible de análisis sin pasar por medios como revelados, escaneados o proyección. Segundo, de un cubículo especialmente diseñado que cuente con iluminación corregida [2,11,27,33,34,35] y siguiendo los parámetros de la Comisión Internacional de la Iluminación (Bureau, Francia) para la visualización, selección y comparación de estructuras o cuerpos coloridos [13,36] como son los dientes extraídos o las guías de color que pueden ubicarse dentro del mismo para ser visualizados, registrados o fotografiados. Y tercero, de una guía de color creada con criterios colorimétricos para su uso en Odontología (VITAPAN 3D MASTER, Vita Zahnfabrik. Alemania) cuyo diseño responde a características físicas y mesurables del color, especialmente delimitada en el área tridimensional de la esfera del color que corresponde al color dental en un 96% [21,37,38,39].

## **Procedimiento**

Fueron fotografiadas por dos métodos distintos, en un cubículo de condiciones normalizadas (gris neutro,

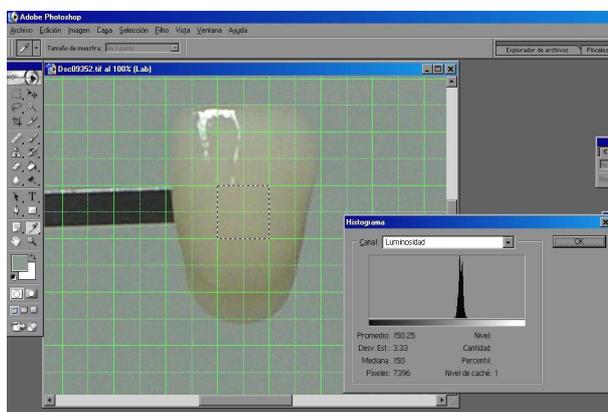
iluminado con un fluorescente de 2350lm, IRC >95, 5400°K, OSRAM - 12LUMILUX deLuxe; Germany) a 5x (macrofotografía) las cinco cuentas o muestras de color representativas de cada nivel de claridad (1M1, 2M1, 3M1, 4M1, 5M1) de la guía de color VITAPAN 3D MASTER COLOR GUIDE (Vita – Vita Zahnfabrick H. Germany) [37,38,39] siempre en una misma posición respecto a la iluminación y al lente de la cámara digital Sony Cyber Shot Digital (Sony Inc. - Minokamo. Japón) modelo DSC-F707 (Figura 1), a 10° empleando una resolución máxima de 2560 x 1920 píxeles (512ppp) [40].

El **método 1** se llevó a cabo sin retirar la cuenta de la posición de registro hasta obtener seis tomas por cada cuenta. El **método 2** se llevó a cabo retirando y recolocando la cuenta de la posición de registro sucesivamente hasta obtener 6 tomas de cada cuenta.



**Figura 1.** Cubículo para el registro de las coordenadas del color.

En formato TIFF fueron vaciadas en un computador personal y las imágenes fueron centradas y cuadradas en 9 sectores representativos de color para poder utilizar únicamente la cuadrícula central del tercio medio de cada cuenta de color; esta adaptación se llevó a cabo en el software Adobe Photoshop v7.0 (Adobe Systems, Inc. US) y se obtuvo el histograma del color respectivo de dicha cuadrícula en modo RGB transformados a CieLab, obteniendo los valores de L\*, a\* y b\*, (Fotografía 2) en un total de 30 valores por cada método. El valor de L\*, o luminosidad, oscila ente 0 (negro) y 100 (blanco); los valores a\*>0 indican tendencia al rojo y a\*<0 tendencia al verde, los valores b\*>0 indican tendencia al amarillo y b\*<0 indican tendencia al azul [13].



**Figura 2.** Determinación de las coordenadas del color en el software Adobe Photoshop™.

La blancura de cada toma según sus valores L\*,a\* y b\*, y el promedio de blancura de cada grupo de cuentas de color (1M1, 2M1, 3M1, 4M1, 5M1), se obtuvo mediante la fórmula de Hunter:

$$W = L + (3*a) + (3*b) \quad [12]$$

Las diferencias de color entre diferentes métodos dentro de un mismo nivel (grupo de cuentas) y, dentro de cada método las diferencias entre diferentes niveles, se obtuvo empleando la fórmula:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Fue calculado el margen de error de ambos métodos de registro y comparados para hallar la variación; se empleó el Análisis de Varianza de diseño factorial simple, usando el paquete estadístico SPSS, para cuantificar el error de medición de estos dos métodos. Se empleó el análisis estadístico de Wilcoxon, para comparar los valores de luminosidad de las fotografías tomadas de manera continua y discontinua en cada nivel y para comparar los resultados obtenidos entre todos niveles (1M1, 2M1, 3M1, 4M1, 5M1) empleamos el análisis estadístico de Kruskal Wallis.

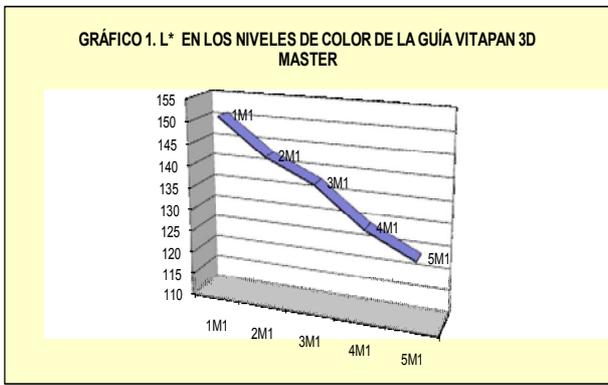
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de L\*, a\* y b\* de las 30 tomas de cada método fueron registradas y ordenadas por columnas como Método 1 (Continuas) y Método 2 (Discontinuas). Al método 1, la variación fue de 1.52 a 3.76, y al método 2 fue de 1.50 a 3.78, que serían sus márgenes de error. El error de medición de estos dos métodos mediante el análisis de los componentes de la varianza, fue solo del 2.73% (p-value = 0.855).

Los márgenes de error en cada técnica demuestran que la variación se mantuvo casi constante, por lo tanto son semejantes ambos métodos, demostrándose que los resultados son similares cuando la cuenta de la guía de color es fotografiada en oportunidades diferentes de una manera no continua como sucedería si se investigasen colores de especímenes dentales los cuales tengan que fotografiarse varias veces en oportunidades diferentes. Esto prueba la repetibilidad o concordancia obtenida al ser analizadas las imágenes obtenidas en este sistema.

No hubieron diferencias significativas al comparar ambos métodos según L\* y Blancura en los diferentes niveles, vale decir 1M1 (p=0.225), (p=0.753), 2M1 (p=0.688), (p=0.75), 3M1 (p=0.500), (p=0.116), 4M1 (p=0.500), (p=0.75), y 5M1 (p=0.138), (p=0.173), respectivamente. Dentro de cada método si hubo diferencias significativas respecto a la comparación entre cuentas, en Luminosidad y Blancura, en las fotos continuas (p=0.000) así como, de las de fotos discontinuas (p=0.000).

La significancia estadística en los promedios de L\* y Blancura nos revelan que existen diferencias entre los niveles y conforme aumenta la tonalidad de la cuenta de la guía de colores Vitapan 3D Master, disminuye el valor de L\* y la Blancura de la misma; comprobándose lo que visualmente distinguimos en los 5 niveles de claridad de la guía (Gráfico 1).



**Gráfico 1.** L\* (Luminosidad) según los niveles del color de la guía Vitapan 3D Master.

Los valores de  $\Delta E$  al comparar coordenadas entre métodos para cada nivel, fue para 1M1= 0.64, 2M1= 0.62, 3M1= 0.30, 4M1= 0.84, 5M1= 0.55. Y las diferencias de color entre niveles (grupos de cuentas) dentro del mismo método fue en todos los casos  $\Delta E > 2.06$ . Cabe resaltar que los valores de  $\Delta E$  representan diferencias entre valores de coordenadas que son el promedio de todas las coordenadas de cada nivel.

Si dos conjuntos de coordenadas coinciden, ambas representando dos mediciones diferentes, se dice que la diferencia de color entre lo dos es cero. Si existe distancia en el espacio del color entre dos conjuntos de coordenadas (por ejemplo: L\*1, a\*1, b\*1 y L\*2, a\*2, b\* 2) es razonable asumir que la diferencia de color entre los estímulos que los dos conjuntos de coordenadas representan, genera un aspecto visual que diferencia el uno del otro. La medida común de diferencia de color es por consiguiente la distancia Euclideana entre los dos conjuntos de coordenadas en el espacio tridimensional, llamada  $\Delta E$ . El término de la "E" deriva de la palabra alemana para la sensación: *Empfindung*. La  $\Delta E$  por consiguiente diferencia las sensaciones de color entre dos objetos [41].

Se ha estudiado que bajo condiciones ambientales no controladas, el ojo humano es sensible a valores de  $\Delta E$  iguales o mayores de 3.3 [42]. En situaciones controladas, otros investigadores han encontrado que el ojo humano entrenado y sensible podría percibir diferencias cuando  $\Delta E$  esté entre 1 y 2 [43,44].

Al comparar la  $\Delta E$  entre métodos para todos los niveles, ningún resultado fue mayor a 0.9, lo que demuestra que el sistema reproduce el color tanto de manera continua como discontinua fiablemente y sería indistinguible al ojo humano entrenado en máximas condiciones de normalización encontrar diferencias entre las tomas fotográficas, en lo que al color respecta. También en ambos métodos fotográficos las diferencias  $\Delta E$  entre niveles fueron superiores a 2.07, lo que certificaría que inclusive el ojo humano no entrenado podría distinguir las mismas diferencias de color.

Los resultados de este estudio no son comparables a otros ya que el sistema y la metodología difieren notablemente; sin embargo cabe recalcar que las coordenadas CIELab pueden ser obtenidas por la transformación los valores RGB que arroja la computadora, gracias a una fórmula estándar [12]. o a un software de transformación de unidades que incluye todas las fórmulas, incluso de la Blancura de Hunter, empleada en este estudio.

Respecto al cuadrículado de las cuentas de color, fueron efectuados sobre la fotografía analizada en el Adobe Photoshop 7.0,(Figura 2) descartando 1mm del borde incisal donde se concentra la translucencia de la cuenta de la guía de color.

El modo CIELab permite obtener claramente la cuantificación de la luminosidad del espécimen, el valor de L\* y la Blancura, que sistemas como el RGB y el CMYB no cuentan de origen. Por lo que es sugerido para continuar las investigaciones respecto al color dental, empleando condiciones estandarizadas como las logradas en el cubículo diseñado ad hoc para llevar a cabo el presente sistema que ha de servir como instrumento para futuras investigaciones.

## AGRADECIMIENTOS

El CONCYTEC, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que promueve y facilita las publicaciones científicas nacionales (manuscrito original y presentación oral en el **ECI2005i**).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Culpepper WD. A comparative study of shade – matching procedures. *J Prosthet Dent* 1970; 24: 166 – 173.
- [2]. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent* 1981; 46: 450 – 453
- [3]. O’Neil SJ, Powell WD. Color discrimination and shade matching ability of third year dental students. *J Dent Res* 1984; 63 : 174
- [4]. Horn DJ, Bulan – Brady, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod* 1998; 24 : 786 – 790.
- [5]. Van Der Burgt TP, Ten Bosh JJ, Borsboom PCF, Plasschareert JM. A new method tooth colors with color standards. *J Dent Res* 1985; 64 (5) : 837 – 841
- [6]. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. *J Prosthet Dent* 1974; 29 : 416 - 424
- [7]. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II. *J Prosthet Dent* 1974; 29 : 556 - 566
- [8]. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part III. *J Prosthet Dent* 1974; 31 (2) : 147 – 154
- [9]. Saleski CG. Color, light, and shade matching. *J Prosthet Dent* 1972; 27 (3) : 263 - 268
- [10]. Gnan Ch. Teoría de los colores. Quintessence técnica (ed. Esp.) 1985; 6 (1) :48 – 64
- [11]. Bergen SF, McCasland J. Dental operatory lighting and tooth color discrimination. *JADA* 1977; 94 : 130 – 134
- [12]. Lozano RD. El Color y Su Medición. Buenos Aires: Editorial Américalee; 1978.
- [13]. Commision International de l’Eclairage. Recommendations on uniform colour sppaces, colour difference equations and psychometric colour terms. Paris: Bureau Central de la CIE, 1978. En: Lenhard M. Assessing tooth color change after repeated bleaching in vitro with a 10% carbamide peroxide gel. *JADA* 1996; 127: 1618 – 1624.
- [14]. Sorensen JA, Torres TJ. Improved color matching of metal-ceramic restorations. *J Prosthet Dent* 1987; 58 (2) : 133 - 139
- [15]. Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent* 1987; 58 (5) : 535 – 542
- [16]. Goodking RJ. A comparison of chromascan and epectophotometric color meseasurements of 100 natural teeth. *J Prosthet Dent* 1985; 53 (1) : 974 – 977
- [17]. Schwabacher WB, Goodking RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth comparated with three shade guides. *J Prosthet Dent* 1990; 64 : 425 – 431.
- [18]. Lenhard M. Assessing tooth color change after repeated bleaching. *JADA* 1996; 127 : 1618 - 1624
- [19]. Goldstein GR, Schmitt GW. Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent* 1993; 69 (6) : 616 – 619
- [20]. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent* 1998; 80(6): 642 - 648.
- [21]. Wee AG, Kang EY, Johnston WM, Seghi RR. Evaluating porcelain color match of different porcelain shade-matching systems. *J Esthet Dent* 2000;12(5):271-80.
- [22]. Dancy WK, Yaman P, Dennison JB, O'Brien WJ, Razzoog ME. Color measurements as quality criteria for clinical shade matching of porcelain crowns. *J Esthet Restor Dent* 2003; 15(2): 114 – 121.
- [23]. Tantbirojn D, Ko Ch-Ch, Douglas WH. Stain removal efficacy: An in vitro evaluation using quantitative image analysis. *Quintessence International* 1998; 29 (1) : 28 – 38
- [24]. Bentley C, Leonard RH, Nelson Ch, Bentley S. Quantitation of vital bleaching by computer analysis of photographihic images. *JADA* 1999; 130 (6): 809 – 816.
- [25]. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 2004; 32 Suppl 1:3-12.
- [26]. Cal E, Sonugelen M, Guneri P, Kesercioglu A, Kose T. Application of a digital technique in evaluating the reliability of shade guides. *J Oral Rehabil* 2004; 31(5): 483 - 491.
- [27]. Küppers H. Fundamentos en la teoría de Colores. Barcelona: Editorial Gustavo Gilli; 1985.
- [28]. Over LM, Andres CJ, Moore BK, Goodacre CJ, Munoz CA. Using a colorimeter to develop an intrinsic silicone shade guide for facial prostheses. *J Prosthodont* 1998; 7(4): 237 - 249.
- [29]. Sim CP, Yap AU, Teo J. Color perception among different dental personnel. *Oper Dent* 2001;6(5): 435 - 439.
- [30]. Chu SJ. Precision shade technology: contemporary strategies in shade selection. *Pract Proced Aesthet Dent* 2002; 14(1): 79 - 83; quiz 84.
- [31]. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent* 2003; 89(1): 50 - 53.
- [32]. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual vs spectrophotometric shade taking for porcelain-fused-to-metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004; 24(3): 222 - 231.
- [33]. Preston JD. Luz e iluminación en el consultorio odontológico. *Dent Clin North Am* 1978; 22: 431-451
- [34]. Salenski CF. Color, light, and shade matching. *J Prosteth Dent* 1972; 27: 263 – 268
- [35]. Vita-Lite. Fluorescent full-spectrum lamps. En: [www.spectra.net/~taiowa/dtvl.htm](http://www.spectra.net/~taiowa/dtvl.htm) [Consultada el 12 01 2003]
- [36]. Norma CIE: S008/E-2001. CIE Central Bureau. E - mail: [ciecb@ping.at](mailto:ciecb@ping.at) jj
- [37]. Vitapan 3D-Master, Tooth Guide/Color Guide. Manejo de la Guía Dental de Color Vitapan 3D-Master. Vita Zahnfabrik. Alemania. 1998
- [38]. Wetzler M. El futuro de la determinación del color dental tiene un nombre: Vitapan 3D-Master. *Quintessence técnica* (ed. esp.) 1998; 9(6): 316 – 319.
- [39]. Hammad IA. Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides. *J Prosthet Dent* 2003; 89(1): 50 - 53.
- [40]. Bittorf A, Fartasch M, Schuler G, Diepgen TL. Resolution requirements for digital images in dermatology. *J Am Acad Dermatol* 1997 Aug;37(2 Pt 1):195-198

- [41]. Vita EasyShade. The principles of use of a spectrophotometer and its application in the measurement of dental shades. J.J.L Technologies, LLC. Copyright 2003.
- [42]. Ruyter IE, Nilner & Moler B. Color stability of dental composite material for crown and bridge veneers. Dent Mat 1987; 3\_246 – 251.
- [43]. Seghi RR, Johnston WM & O'Brien WJ. Spectrophotometric analysis of color difference between porcelains systems. J Prosthet Dent 1986; 56: 35 – 40.
- [44]. Seghi RR, Hewlett ER & Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessment of small color differences on translucent dental porcelain. J Dent Res 1989; 68: 1760 – 1764.
- [45]. Puebla C & Puebla – Hellmann. Color SlideRule [software freeware]. Disponible en: [www.axiphos.com](http://www.axiphos.com) [Consultado el 23 02 2005]

# FACTORES QUE CARACTERIZAN A LAS MADRES GESTANTES DEL INSTITUTO MATERNO PERINATAL, Y QUE INFLUYEN EN QUE TENGA UN BEBÉ CON BAJO PESO AL NACER

## FACTORS THAT CHARACTERIZE THE MOTHERS OF THE MATERNAL PERINATAL INSTITUTE AND INFLUENCE HAVE A BABY WITH LOW BIRTH WEIGHT

María Estela Ponce Aruneri <sup>a</sup>, Vilma Yovanna Corasma Uñurucu <sup>b</sup>

### RESUMEN

Nuestra investigación, identifica las características de las madres gestantes que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal de la ciudad de Lima, así como los factores que explican el nacimiento de sus bebés, con bajo peso.

Los métodos estadísticos multivariados utilizados en este trabajo fueron Correspondencias Múltiples y Regresión Logística. Trabajamos con 915 madres que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal de la ciudad de Lima, en el año 2002; observándose una incidencia de bajo peso en recién nacidos del 18,4%.

**Palabras Clave:** Bajo peso, mortalidad perinatal, factores, madre gestante, correspondencia múltiple, regresión logística.

### ABSTRACT

Our investigation, it identifies the characteristics of the pregnant women that were attended in the Mother Institute Perinatal of the city of Lima, as well as the factors that explain the birth of his babies, by low weight.

The statistical multivaried methods used in this work were Multiple Correspondences and Logistic Regression. We work with 915 mothers who were attended in the Mother Institute Perinatal of the city of Lima, in the year 2002; being observed an incident of low weight in newborn children of 18,4 %.

**Keywords:** Low weight, mortality perinatal, factors, pregnant women, multiple correspondence, logistic regression.

### INTRODUCCIÓN

Una de las principales causas de la mortalidad infantil y perinatal en el Perú y el mundo, es el bajo peso de los recién nacidos; que es considerado como un indicador general de salud en los países en vías de desarrollo [1].

En nuestro país las campañas realizadas por el Ministerio de salud al respecto, no han solucionado este problema, por el contrario se observa un incremento alarmante de recién nacidos con bajo peso [2].

El peso de un bebé al nacer, es una de las características más importantes, es un indicador de su futuro crecimiento y desarrollo [3].

Los bebés con bajo peso al nacer tienen con frecuencia problemas para adaptarse a la vida extrauterina, esta situación es una preocupación latente de los profesionales de la salud, particularmente de los pediatras y obstetras.

Existen diversas investigaciones univariadas en nuestro país acerca de los factores de riesgo de bajo peso como en [2], [4], entre otras; proponemos que los factores señalados en dichas publicaciones deben ser evaluados y analizados en forma conjunta para encontrar las características de las madres que tienen hijos con bajo peso al nacer, y los factores que influyen para que este hecho ocurra.

El bajo peso al nacer de un bebé es un problema que tiene un origen multifactorial, y que está estrechamente relacionado con las características fisiológicas y socio-económicas de la madre; existe una investigación realizada en el Perú, en la que se aplicó

regresión logística (sólo estimación de parámetros) tomando como base de datos los resultados del ENDES II, III y IV [5].

Proponemos los siguientes métodos multivariados: Análisis de Correspondencias Múltiples y Regresión Logística; verificaremos el cumplimiento de todos los supuestos que se requiere para obtener el modelo apropiado; tales como pruebas de hipótesis para evaluar la significancia del modelo y parámetros, la bondad del ajuste; análisis de influencia y detección de datos atípicos; y finalmente la evaluación de la capacidad predictiva del modelo logístico; lo que garantizará identificar las características más relevantes de las madres gestantes que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal y los factores que influyeron para que tenga un bebé con bajo peso.

### MATERIAL Y MÉTODOS

Los datos se obtuvieron de 915 madres que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal de la ciudad de Lima, durante los meses de enero a julio del 2002 [6].

<sup>a</sup> Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

<sup>b</sup> Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Se consideraron las siguientes variables fisiológicas de la madre: anemia, preclampsia, abortos, control prenatal, multiparidad, período intergenésico, ganancia en el peso de la madre, edad, estatura, peso de su bebé al nacer. Las variables socioeconómicas: estado civil, nivel de instrucción, nivel de vida del distrito de residencia. Las variables fueron medidas en escala nominal y de razón, éstas últimas fueron categorizadas para facilitar el análisis de las mismas.

Para realizar los cálculos y gráficos se utilizó los paquetes estadísticos: MINITAB, STATISTICA y SPSS.

Se utilizó los siguientes métodos estadísticos:

## 1- ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES

Es un método estadístico multivariado, que permite analizar toda la información contenida en una tabla de contingencia (caso bivariado), en este caso es un hipercubo de contingencia (Tabla de Burt) que se construye cruzando las “p” variables bajo estudio; describe las asociaciones conjuntas entre las modalidades de las variables categóricas o cuantitativas categorizadas para obtener su representación conjunta en un espacio de menor dimensión [7].

En este estudio, la Tabla de Burt se construye cruzando las 13 variables consideradas, para evaluar las asociaciones que existen entre sus 29 categorías.

El procedimiento para realizar el análisis es el siguiente:

1º Obtener las dimensiones, para lo que se procede a la descomposición espectral de la matriz de Burt, calculando los autovalores y autovectores respectivos.

2º Seleccionar el número adecuado de dimensiones en base a un porcentaje mínimo de la inercia total. La inercia es un indicador de la dispersión de la nube de observaciones.

3º Obtener la inercia de las modalidades de la variable, para lo que se requiere calcular las:

- i) Contribuciones relativas, que representan la inercia de la modalidad de una variable; lo que aporta a la inercia explicada por el factor.
- ii) Correlaciones, que miden la calidad de la representación de una modalidad “i” de una variable sobre el factor. Se define como el coseno al cuadrado del ángulo entre el factor y el vector que une el centro de gravedad de la nube y la modalidad “i”.

4º Encontrar la inercia de una variable, sumando las inercias de sus modalidades.

5º Calcular los puntajes óptimos asignados a los individuos u observaciones, en los factores o dimensiones seleccionados.

## 2- MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA

La Regresión Logística investiga y modela la relación entre una variable de respuesta (categórica-binaria) y un

conjunto de variables predictoras o regresoras (categóricas y/o cuantitativas); mediante un modelo que permite obtener una función de las variables regresoras relevantes (factores), de tal forma que clasifique individuos u objetos en uno de los grupos establecidos, en base a su probabilidad estimada [8].

El modelo de regresión logística:

$$P(y_i = 1 / \bar{x}_i) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik}}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik}}} = \frac{1}{1 + e^{-L_i}}$$

en este estudio, indica la probabilidad de que la i-ésima madre gestante, que se atendió en el Instituto Materno Perinatal tenga un bebé con bajo peso al nacer.

Para identificar los factores que influyen para que un bebé nazca con bajo peso, se realizó una selección previa de las variables, utilizando el Método Forward-Wald.

Los parámetros del modelo se estiman utilizando el método de máxima verosimilitud, donde la función a maximizar es:

$$L = \prod_{i=1}^n p[Y = y_i] = \prod_{i=1}^n \pi_i^{y_i} (1 - \pi_i)^{1-y_i}$$

Evaluamos la significancia del modelo, parámetros y bondad de ajuste; utilizando la prueba de razón de verosimilitud, la estadística de Wald y la prueba de Hosmer y Lemeshow, respectivamente.

Para detectar la presencia de datos atípicos y/o influyentes utilizamos las siguientes estadísticas:

- i) Distancia de Cook, detecta observaciones influyentes sobre las estimaciones de los parámetros del modelo.
- ii) Estadística delta Chi-cuadrado de Pearson y la estadística delta Chi-cuadrado de la desviación, identifican observaciones que influyen en el valor ajustado del modelo propuesto, es decir que tan pobremente el modelo ajusta a la i-ésima observación.

Finalmente, para identificar los factores que influyen en que un bebé nazca con bajo peso analizamos los valores de los *odds ratio*; y para evaluar la capacidad predictiva del modelo, interpretamos los resultados de la tabla de clasificación y el índice gamma.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1- ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLES

1º Selección del número de dimensiones o factores [9]

Tabla 1: Variación explicada por las dimensiones

Dimensión	Autovalores	Variación Acumulada	Variación Acumulada*
1	0,217700	0,17416	0,4312
2	0,179400	0,31768	0,5766
3	0,145000	0,43368	0,5965
4	0,131400	0,53880	0,5983
5	0,126100	0,63968	0,5983
6	0,118700	0,73464	0,6001

7	0,102700	0,81680	0,6242
---	----------	---------	--------

**\*Corrección de Benzecri [10]**

Las dos primeras dimensiones o factores explican el 57,66% de la variación total. Al evaluar las contribuciones relativas y las correlaciones, observamos que la mayor contribución y representatividad de las modalidades de las variables fisiológicas y socioeconómicas se encuentran en las dos primeras dimensiones, el aporte a la tercera dimensión no es significativo. Por lo tanto seleccionaremos los dos primeros factores o dimensiones

**2º Interpretaciones de las dimensiones o Factores**

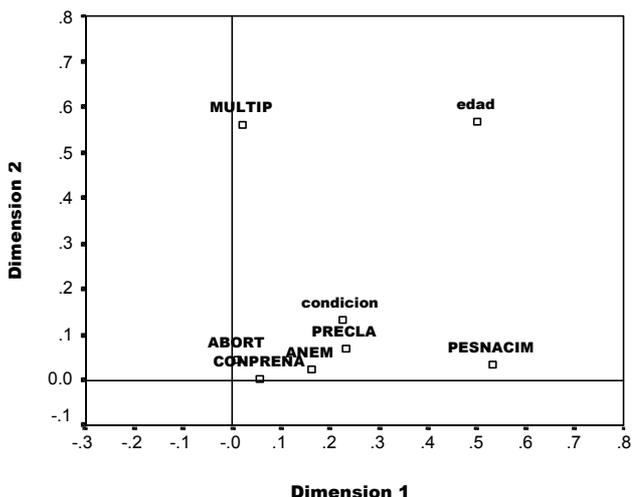
i) El gráfico 1, representa las variables fisiológicas y socioeconómicas de las madres gestantes que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal, muestra:

a) Que el peso al nacer del bebé, la preclampsia y el estado civil (condición) de la madre son las que más aportan a la formación del primer factor; y la presencia de multiparidad al segundo Factor.

b) Que la edad de la madre contribuye en igual proporción a la formación de los dos factores.

**Variables Fisiológicas y Socioeconómicas**

**de las madres gestantes que se atendieron en el IMP**



**Gráfico 1.** Variables Fisiológicas y Socioeconómicas de las madres gestantes que se atendieron en el IMP.

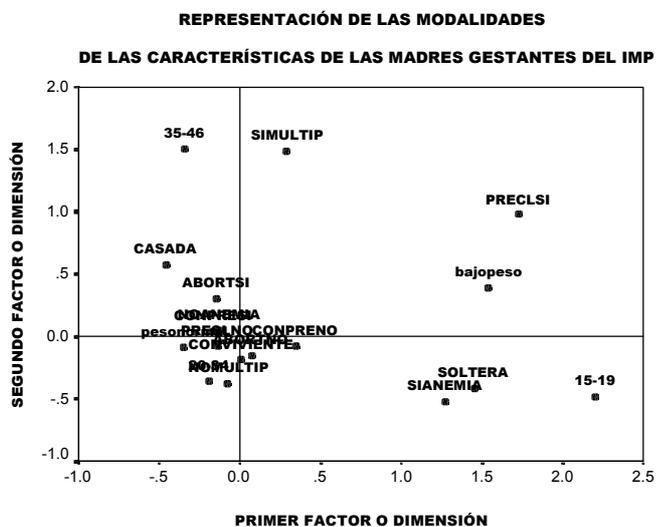
ii) El gráfico 2, muestra la representación de las modalidades de las variables fisiológicas y socioeconómicas de las madres gestantes que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal, en los dos primeros factores o dimensiones. Sin embargo se aprecia que ambos factores muestran a las características fisiológicas de las madres, como las más relevantes.

a) El Primer Factor en el campo positivo (primer cuadrante), muestra a las madres gestantes multiparas, con anemia, con preclampsia, solteras, con bebés con bajo peso al nacer y con edades de 15 a 19 años. En el campo negativo (tercer cuadrante), se ubican las madres gestantes que no tienen anemia, no presentan

preclampsia y con bebés que nacieron con peso normal.

b) El Segundo Factor, en el campo positivo se encuentran las madres gestantes multiparas, casadas y con edades comprendidas entre 35 y 46 años.

En el campo negativo, las madres que no son multiparas y cuyas edades fluctúan entre 20 y 34 años.



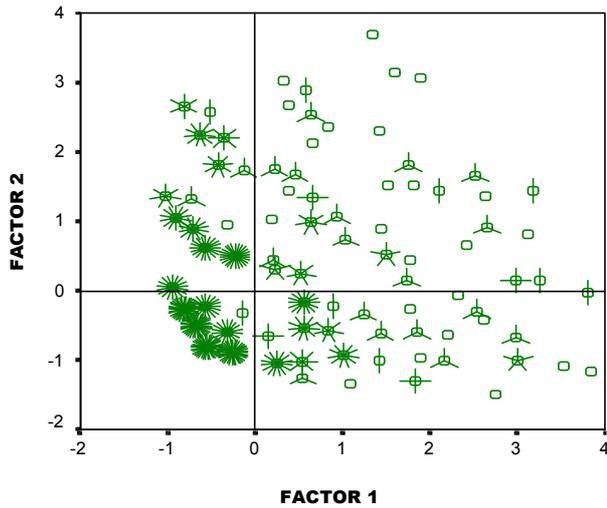
**Gráfico 2.** Representación de las modalidades de las variables Fisiológicas y Socioeconómicas de las madres gestantes que se atendieron en el IMP.

iii) El gráfico 3, representa a las madres gestantes que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal y que muestra a:

- i) a) El 13,44% de las madres gestantes se caracterizan por tener más de dos hijos, presentan hipertensión y bebés con bajo peso al nacer.
- b) El 23,50% de las madres gestantes son casadas, de 35 a 46 años y tuvieron abortos.
- c) El 43,93% de las madres gestantes, tienen menos de dos hijos, con edades entre 20 y 34 años y sus bebés nacieron con peso normal.
- d) El 19,13% de las madres gestantes son solteras, con edades entre 15 y 19 años, presentaron anemia y sus bebés nacieron con bajo peso.

**REPRESENTACIÓN DE LAS MADRES GESTANTES**

**QUE SE ATENDIERON EN EL IMP**



**Gráfico 3.** Representación de las madres gestantes que se atendieron en el IMP.

**2- MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA**

1º Selección de variables y estimación de los parámetros del modelo [11]

El método de selección de variables Forward-Wald, permite construir la ecuación para el modelo de regresión logística con ocho de las diez variables fisiológicas y una de las tres variables socioeconómicas propuestas; estas nueve variables predictoras son las que mayor información aportan para estimar la probabilidad de que una madre gestante que se atiende en el IMP, tenga un bebé con bajo peso al nacer. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2: Estimación y Evaluación de la significancia de los parámetros del modelo**

Variable	Estimación n Parámetro	Estadístico o Wald	p-valor	Odd ratio
ANEMIA	0,904	10,406	0,001	2,469
PRECLAMPSIA	2,057	46,254	0,000	7,824
ABORTOS	0,651	10,267	0,001	1,917
CONTROL PRENATAL	0,727	14,027	0,000	2,070
ESTADO CIVIL	-0,293	6,874	0,009	0,746
MULTIPARIDAD	1,260	29,717	0,000	3,526
PERIODO INTERGENÉSICO	0,423	4,336	0,037	1,527
GANANCIA PESO DE LA MADRE	0,433	3,932	0,047	1,541
EDAD	-1,231	60,455	0,000	0,292

El modelo de regresión logística propuesto es:

$$P(y_i = 1/\bar{x}_i) = \frac{1}{1 + e^{-L_i}}$$

donde :

$$L_i = 0,904ANE + 2,057PRECL + 0,651ABORT + 0,727CONT - 0,293ECIVIL + 1,26MULTI + 0,423PI + 0,433GP - 1,231EDAD$$

2º Evaluación de la significancia del modelo

Probaremos la siguiente hipótesis:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_9 = 0$$

Con el estadístico  $-2L_n$  de la verosimilitud = 699,086 y  $\chi^2_{(9)} = 16,92$

Para un nivel de significación del 5%, se tiene que, el modelo es significativo. Es decir al menos uno de los parámetros es diferente de cero y por lo tanto al menos uno de los nueve factores o variables consideradas en la Tabla 2 influye para que un bebé nazca con bajo peso en el IMP.

3º Evaluación de la significancia individual de los parámetros del modelo.

Considerando los resultados del estadístico de Wald, las hipótesis en este caso son:

$$H_0: \beta_i = 0 \quad i = 1, \dots, 9$$

$$H_1: \beta_i \neq 0 \quad \text{para al menos un "i"}$$

Si observamos los p-valores de la Tabla 2; los nueve parámetros son significativos, es decir los nueve factores influyen en la probabilidad de que una madre gestante que se atiende en el IMP tenga un bebé con bajo peso al nacer.

4º Evaluación de la bondad de ajuste del modelo.

Se utiliza el test de Hosmer y Lemeshow, que se basa en la estadística Chi-cuadrado. La hipótesis a probar es:

**H<sub>0</sub>:** No existe diferencia entre los valores observados y los estimados a partir del modelo de regresión logística.

**H<sub>1</sub>:** Existe diferencia entre los valores observados y los estimados a partir del modelo de regresión logística.

**Tabla 3: Test Hosmer y Lemeshow**

Estadística Chi-cuadrado	Grados de libertad	p-valor
7,605	7	0,369

Los resultados que muestra la Tabla 3, indica que el modelo de regresión logística propuesto, representa adecuadamente el comportamiento de los factores: anemia, preclampsia, abortos, control prenatal, estado civil, multiparidad, período ínter genésico, ganancia de peso en la madre y edad.

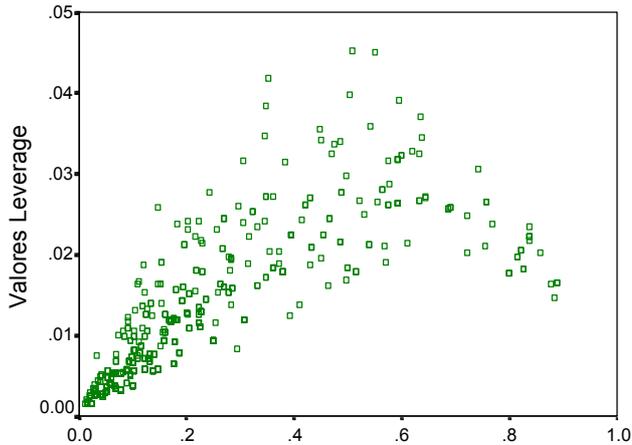
5º Detección de observaciones atípicas y/o influyentes.

Utilizaremos algunas estadísticas que nos permitirán detectar observaciones que el modelo no ajusta correctamente, que tienen un comportamiento diferente al resto o que influyen en las estimaciones del modelo propuesto.

A partir del modelo estimado y de los valores de las variables, calculamos la probabilidad estimada, los valores leverage, la distancia de Cook, la estadística

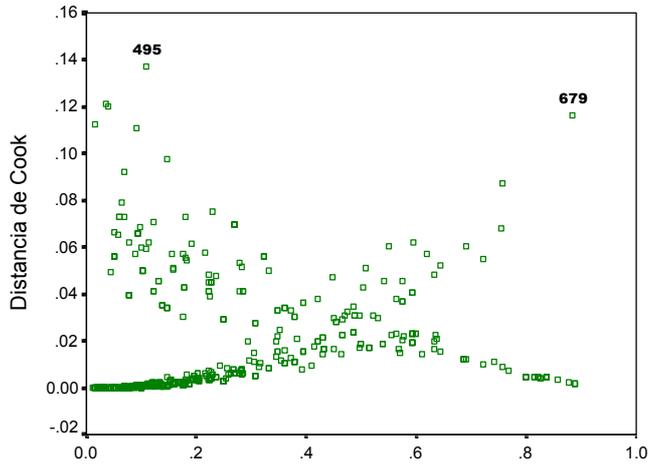
delta chicuadrado y delta desvianzas; los que se muestran en los siguientes gráficos:

**Datos de las 915 madres gestantes que se atendieron en el IMP de Lima**



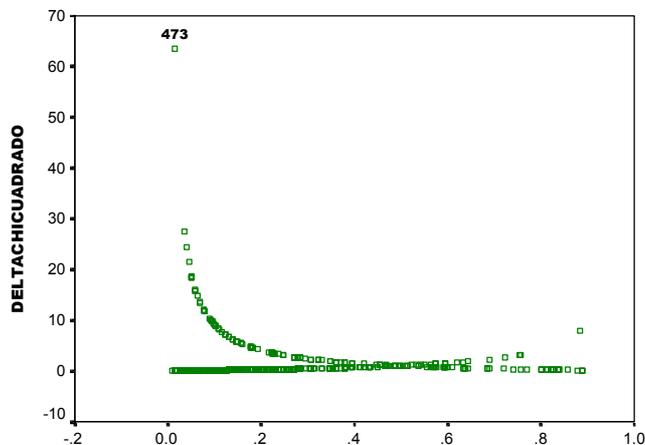
**Gráfico 4.** Probabilidad estimada y Valores Leverage

**Madres Gestantes atendidas en el IMP**



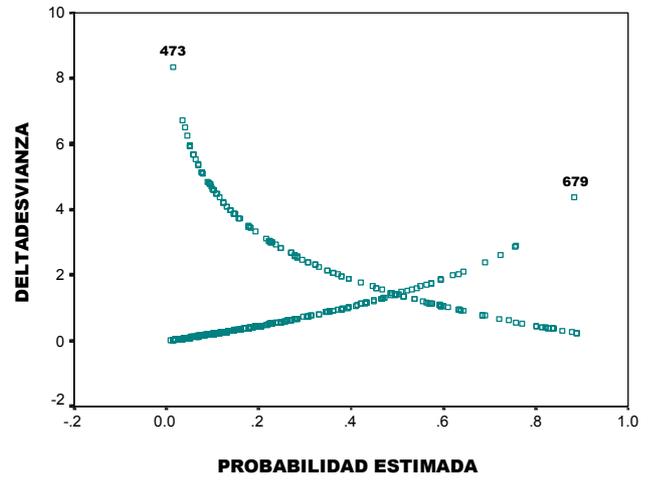
**Gráfico 5.** Probabilidad estimada y Distancia de Cook

**MADRES GESTANTES QUE SE ATENDIERON EN EL IMP**



**Gráfico 6.** Probabilidad estimada y estadístico Delta Chicuadrado.

**MADRES GESTANTES QUE SE ATENDIERON EN EL IMP**



**Gráfico 7.** Probabilidad estimada y estadístico Delta Desvianza

Los gráficos 5, 6 y 7 muestran que las madres gestantes identificadas con los números 473, 495 y 679 son las que pueden ser consideradas como madres con características atípicas o que ejercen influencia en los resultados del modelo.

Se retiraron dichas observaciones del conjunto de datos y al realizar nuevamente el análisis con las 912 madres gestantes, comprobamos que los resultados no presentan cambios significativos; es decir dichas observaciones no tiene un comportamiento atípico o que influya en los resultados del modelo estimado.

6° Evaluación de la capacidad predictiva del modelo

i) Tabla de Clasificación

**Tabla 4: Capacidad Predictiva del modelo**

OBSERVADO	PRONOSTICADO		TOTAL
	PESO NORMAL	BAJO PESO	
PESO NORMAL	727	20	747
BAJO PESO	111	57	168
TOTAL	836	77	915

Como la especificidad (97.3%) y la sensibilidad (33.9%), son valores superiores a los falsos positivos (25.9%) y falsos negativos (13.3%), podemos afirmar que el modelo ayuda a predecir el peso de los bebés al nacer.

Como el porcentaje de aciertos en la clasificación es del 85,7%, podemos concluir que el modelo tiene una muy buena capacidad predictiva.

ii) Índice de eficacia predictiva [9]

**Tabla 5: Índice Gamma**

Valor del Índice	Aprox. Sig.
0,898	0,000

El valor del Índice Gamma 0,898, indica una muy buena

capacidad predictiva del modelo.

7° Interpretación de los parámetros estimados del modelo

i) El estado civil y la edad de la madre gestante, disminuye la probabilidad de que un bebé nazca con bajo peso en el IMP.

ii) La anemia, preclampsia, abortos, control prenatal, multiparidad, período intergenésico y ganancia de peso de la madre gestante incrementan la probabilidad de que un bebé nazca con bajo peso en el IMP.

iii) Los odds ratio, mostrados en la Tabla 2, muestra que las madres que:

- Presentaron anemia, tienen tres veces más riesgo de tener hijos con bajo peso.
- Tienen Preclampsia, presentan ocho veces más riesgo de tener hijos con bajo peso.
- Tuvieron abortos, tienen dos veces más riesgo de tener hijos con bajo peso.
- No tuvieron Control Prenatal tienen dos veces más riesgo de tener un bebé con bajo peso.
- Tienen más de dos hijos, tienen cuatro veces más riesgo de tener un bebé con bajo peso.

## CONCLUSIONES

1° Los dos primeros factores seleccionados representan las características fisiológicas de las madres gestantes que fueron atendidas en el Instituto Materno Perinatal. La característica que más contribuye a la formación del primer factor es el peso de los bebés al nacer, mientras que la multiparidad es la característica más importante para el segundo factor.

2° Las variables período intergenésico, estatura, nivel de instrucción y nivel de vida de las madres gestantes, no son factores de riesgo, es decir no influyeron en el bajo peso de los recién nacidos en el IMP.

3° La mayoría de las madres (70,93%) que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal residen en distritos considerados con un nivel de vida regular, presentan una ganancia de peso inadecuado, las más jóvenes presentan anemia. La preclampsia, abortos y falta de control prenatal son frecuentes en madres gestantes de 20 a 34 años; y la multiparidad en las mayores a 20 años.

4° Las madres gestantes atendidas en el IMP forman tres grupos:

i) El primero, representa al 32,57% de las madres gestantes que se caracterizan por tener bebés con bajo peso al nacer, pero este grupo a su vez está formado por dos subgrupos:

- a) Madres que tuvieron más de dos hijos (multípara) y que presentaron hipertensión (preclampsia).
- b) Madres adolescentes, solteras y con anemia.

ii) El segundo, representa el 23,50% de las madres gestantes, casadas, de 35 a 46 años y que tuvieron abortos.

iii) El tercero, conformado por el 43,93% de las madres gestantes, que tienen menos de dos hijos, con edades entre 20 y 34 años y sus bebés nacieron con peso normal.

Finalmente, el primer grupo caracteriza a las madres gestantes que tienen bebés con bajo peso al nacer.

5° La anemia, preclampsia, ausencia de control prenatal y multiparidad que presentaron las madres gestantes que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal, son los factores de riesgo para que tengan un bebé con bajo peso al nacer.

6° Finalmente podemos concluir, que los factores fisiológicos de las madres gestantes que se atendieron en el Instituto Materno Perinatal entre Enero y Junio del 2002, son los que influyen en el bajo peso al nacer de sus bebés.

La metodología estadística aplicada en esta investigación se puede extender para encontrar los Factores que caracterizan a las madres gestantes del Perú y que influyen en que tenga un bebé con bajo peso al nacer.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Materno Perinatal (IMP), por las facilidades brindadas para la obtención de los datos.

Al Instituto de Investigación de la Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por el apoyo económico que hizo posible la culminación de la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Grau Espinoza MA; Saens Darisas L, Cabrales Escobar JA. 1999. Factores de riesgo del bajo peso al nacer. Hospital Gineco- Obstétrico Provincial de Santi Spíritus. Rev. Panam de Salud Pública; 6(2):95-7. Cuba.
- [2]. [Rivera Santos, Vargas Carlos, Quintanilla Yéssica. Factores de riesgo de bajo peso al nacer en el Hospital Félix Torrealva Gutiérrez. Agosto 2001- Febrero 2002. EsSalud. Ica, Perú.
- [3]. Rodríguez Domínguez Pedro Lorenzo, Hernández Cabrera Jesús, Reyes Pérez. 2005. Bajo peso al nacer. Algunos factores asociados a la madre. Rev. Cubana Obstet. Ginecol. 31(1).
- [4]. [Shimabuku, R, Oliveros, M. 1999. Factores de riesgo de bajo peso al nacer en el Perú. Rev. Esp. Ped. 428-33.
- [5]. Oliveros Donohue Miguel. 1992-2000. Tendencias de riesgo de nacer con bajo peso en el Perú y factores condicionantes. INEI. Investigación Sociodemográfica. Lima, Perú.
- [6]. Factores que caracterizan a las madres gestantes y que influyen en que tenga un bebé con bajo peso al nacer. 2003. Ponce Aruneri María Estela, Corasma Unurucu Vilma Yovanna. 2003. Informe Técnico de Investigación. Instituto de Investigación de la FCM-UNMSM. Lima, Perú.
- [7]. Crivisqui, Eduardo M. Análisis Factorial de Correspondencias. 1992. Edición del Laboratorio de Informática Social. Universidad Católica de Asunción. Asunción, Paraguay.
- [8]. Hosmer David W. y Lemeshow Stanley. 2000. Applied Logistic Regression. John Wiley & Sons. New York.
- [9]. Hair Joseph, Anderson Rolph, Tatham Ronald, Black William. Análisis Multivariante. Prentice Hall. (México, 1999).
- [10]. Bartholomew, David J. 2002. The Análisis and Interpretation of Multivariate Data for Social Scientists. Chapman & Hall/CRC. New York, 2002.
- [11]. Kleinbaum David G. Logistic Regression. 2002 Springer. New York.

**E-mail:** mepaunmsm@yahoo.es

# HUMEDALES DE LA YUNGA AMAZÓNICA EN LOS DEPARTAMENTOS HUANUCO Y SAN MARTÍN, PERÚ

## WETLANDS OF AMAZONIAN YUNGA IN DEPARTMENTS OF HUANUCO AND SAN MARTIN, PERU

Manuel Ñique Alvarez<sup>a</sup>, Luis Vivar Luque<sup>a</sup> y Edilberto Chiquilín Bustamante<sup>a</sup>.

### RESUMEN

El estudio tuvo como objetivos identificar y generar cartografía de humedales de la yunga amazónica, aportar información sobre los humedales amazónicos y contribuir a su gestión. El área de estudio se ubica en el Hotspot Andes Tropicales y comprende los departamentos de San Martín y Huanuco, considerándose únicamente los humedales que están en el rango de elevación de 600 a 3600 msnm. Se utilizó imágenes de satélite y se generó un banco de datos en medio digital y además se hizo la verificación en campo en base a un muestreo tipo dirigido. Se identificaron 109 humedales en San Martín y 74 en Huanuco, generándose la Base de Datos "Humedales identificados en la Ecorregión Yunga, departamentos Huanuco y San Martín", que comprende para cada humedal: área, ubicación política, coordenadas UTM. Asimismo se ha hecho una clasificación por áreas determinándose que la mayoría de los humedales tiene un área mayor o igual a 1 ha pero menor de 10 ha. El área total de los humedales identificados comprende 1,620.94 ha. de espejo de agua dulce y el humedal de mayor superficie es la laguna "El Sauce" que posee 473.71 ha.

**Palabras clave:** humedales, yunga, amazonia.

### ABSTRACT

The objectives were identify and generate wetland's cartography of Amazonian yunga, provide information about Amazonian wetlands and contribute to their management. The study area is located in the Tropical Andes Hotspot, and includes the departments of Huanuco and San Martin, considering only those wetlands that are in the range of elevation of 600 to 3600 meters above sea level. Were used satellite images and creates a database in digital media and also made the field verification based on a directed sampling. 109 wetlands in San Martin and 74 in Huanuco were identified, generating a Database: "Wetlands identified in the Ecoregion Yunga departments Huanuco and San Martín", which includes for each wetland: area, location policy, UTM coordinates. It also has a classification determined by areas that most of the wetland has an area greater than or equal to 1 but has less than 10 ha. The total area of studied wetlands is 1620.94. ha. and largest wetland is the lagoon "El Sauce" which has 473.71 ha.

**Keywords:** wetlands, yunga, amazon.

### INTRODUCCIÓN

La ecorregión yunga amazónica peruana, presenta una gran diversidad biológica y endemismos, debido a una heterogeneidad geográfica y climática; presentando diversidad de hábitats, donde se refugian plantas y animales de los más variados taxa de la escala biológica [1,2 y 3].

En los últimos 30 años la región yunga ha recibido una creciente influencia humana, lo que ha originado actividades agropecuarias (agricultura migratoria especialmente) y de extracción de recursos del bosque. En consecuencia, ésta ecorregión esta siendo afectada por deforestación, fragmentación y pérdida de hábitats, erosión de suelos, y deterioro de recursos hídricos [4 y 5].

Dentro de de los recursos hídricos están los humedales los que sustentan una importante diversidad biológica y, en muchos casos, constituyen hábitats críticos para especies seriamente amenazadas, además de servir de áreas de refugio de muchas especies migratorias [6 y 7]. Uno de los principales servicios que ofrecen estos humedales es la provisión de agua, no solamente para el abastecimiento de las comunidades humanas residentes en sus alrededores, sino también para el

riego de suelos agrícolas, la generación hidroeléctrica y el consumo humano aguas abajo. Además proveen fibras vegetales, alimentos y recursos genéticos, almacenan y regulan caudales, capturan carbono y representan un invaluable patrimonio cultural por su significado espiritual y religioso.

Asimismo, son importantes espacios de vida y de riqueza cultural, fecundos en simbolismos, mitologías y valores espirituales para numerosas comunidades indígenas y campesinas. Tales valores históricos y tradicionales, muchos de ellos directamente vinculados a los humedales, forman parte de la herencia cultural andina y se debe tener en cuenta en el manejo del espacio natural. [6 y 7].

Estos humedales son ecosistemas de gran fragilidad asociada a causas naturales como el régimen de lluvias y el cambio climático y además a la intervención humana, como en los casos de la agricultura migratoria, pastoreo excesivo y deforestación. Posiblemente muchos humedales de la yunga se están perdiendo de manera acelerada, sobre todo, por manejo inadecuado y desconocimiento de su importancia económica y ecológica.

<sup>a</sup> Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María - Perú

Para el estudio de los cuerpos de agua como son los humedales, se indica que la necesidad de tener formas más específicas y de bajo costo para hacer inventarios de humedales está cambiando. Así, las fotografías aéreas han sido el insumo más utilizado en el inventario de humedales. Sin embargo, el uso de imágenes de satélite ofrece, además de la información que dan las fotografías aéreas, el poder conducir investigación sobre la estructura biológica del humedal, así como el desarrollo de esquemas de manejo cuando se combina con otras capas de información [8].

Respecto a estudios sobre cuerpos de agua, el Perú cuenta con el Inventario Nacional de Lagunas y Represamientos, el cual, estimó que en el país existen 12201 lagunas, 3896 en la vertiente del Pacífico, 7441 en la vertiente del Atlántico, 841 en la vertiente del Titicaca y 23 en una vertiente cerrada [9]. Sin embargo, este estudio sólo cubre el 29,1% del territorio peruano y no consideraba las lagunas del área amazónica. Además, los actuales estudios sobre humedales, en la mayoría de casos, se han concentrado en los humedales de la costa peruana y algunos importantes en selva baja, muestra de ello es la ausencia, en la yunga amazónica, de un humedal Ramsar.

Asimismo, la región Yunga esta considerado dentro del Hotspot Andes Tropicales y es una de las más amenazadas en el neotrópico [10], requiriéndose en forma urgente ejecutar inmediatas acciones de conservación y gestión de recursos naturales, en especial los humedales.

*Dado los antecedentes referidos y el desconocimiento de los humedales de las Yungas peruanas se planteo como objetivos:*

- Generar una base de datos georeferenciados de humedales de la región yunga amazónica, departamentos Huanuco y San Martín.
- Generar información para la gestión de humedales amazónicos.

## MATERIAL Y METODOS

### Área de Estudio

El área de estudio esta ubicada en el Hotspot Andes Tropicales y comprende los departamentos de San Martín y Huanuco del Perú, y abarca una superficie aproximada de 2 118 648 ha. Los límites geográficos corresponden a 77°46'27" y 74°33'44" de longitud oeste y 10°25'51" y 4°23'38" de latitud sur; considerándose únicamente las zonas que estuvieran en el rango de elevación de la ecorregion Yunga, de 600 a 3600 m.s.n.m. (Figura 1).

### Metodología

La primera etapa de estudio fue la adquisición de imágenes de satélite y la generación de bancos de datos en medio digital de las bandas TM3 (rojo; 0,63 a 0,69 µm), TM4 (infrarrojo próximo; 0,76 a 0,9 µm) y TM5 (infrarrojo medio; 1,55 a 1,74 µm) del sensor TM del satélite Landsat-5. Sobre las imágenes generadas se aplicaron los procedimientos de pre-procesamiento, combinación de bandas en falso color (TM5, TM4, TM3), realce de imágenes, registro, mosaicos y recorte del área

de estudio, el cual fue georeferenciado y rectificado usando el software ENVI 4,2.

Para la ubicación del área de estudio, se contó con información cartográfica en formato digital y análogo (curvas de nivel altitudinal, vías de comunicación, poblados), producida por el Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN).

En la Tabla 1 se presentan los detalles de las escenas satelitales que fueron utilizados en el presente trabajo.

Para lograr la identificación y distinción de cuerpos de agua lénticos como lagos, lagunas y lóticos; en general humedales, de las áreas secas, se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada o IVDN. La transformación de las imágenes de niveles digitales a reflectancia, se realizó usando la herramienta Calibration Utilities aplicativo del software ENVI 4.2.

De acuerdo a sus respuestas espectrales, se determinó umbrales de cuerpos de agua (ríos y lagos) con valores de índice menores de -0,2 y áreas secas mayores de -0,2 (suelos y vegetación), y con ella se realizó una clasificación por el método de Mínima distancia (ENVI 4,2). De esta manera se obtuvo un mapa preliminar de humedales de los departamentos ya mencionados.

Tabla 1. Detalles de escenas satelitales

Imagen	Datum	Zona
p007r066_7t20010826	WGS84	18L
p007r064_7t20010826	WGS84	18L
p008r066_7t20010630	WGS84	18L
p006r066_7t20000901	WGS84	18L
p006r066_7t20000816	WGS84	18L
p007r065_7t19990805	WGS84	18L
p008r064_7t19990711	WGS84	18L
p008r065_7t19990711	WGS84	18L
p007r067_7t19940714	WGS84	18L
p008r67_5t19910915	WGS84	18L
p009r64_5t19870911	WGS84	17L

Una vez concluido este procedimiento en ENVI 4,2, las imágenes raster fueron transformadas a entidades vectoriales. Estas fueron exportadas al software AutoCad 2004, donde fueron sometidos a un proceso de simplificación y suavizado de vértices con una tolerancia de 30 m.

Luego, todos los vectores resultantes fueron discriminados con el software ArcGis 9,0 según el criterio de eliminar los humedales que estuvieran fuera del rango de los 600 a 3600 m.s.n.m. y aquellos que estuvieran ubicados en la vertiente del pacifico. Finalmente, se generó la Base de Datos definitiva y el despliegue de los mapas finales.

### Muestreo en campo

La verificación en campo se hizo en base a un muestreo tipo dirigido, verificándose *in situ* 7 humedales (dos en San Martín y cinco en Huanuco), el trabajo se hizo utilizando un GPS Garmin modelo 76CSx y la clasificación de los mismos se hizo en base a la observación directa, fichas de campo y los criterios

indicados en Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States [11].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La yunga se caracterizan por su vegetación densa y con una estructura vertical organizada en múltiples estratos, que se desarrolla sobre terrenos que presentan fisiografía en extremo accidentada (por grandes pendientes) y clima particularmente húmedo, con suelos por lo general pobres y susceptibles a la erosión, además de una gran diversidad biológica, aunque escasamente conocida [12].

Los humedales de la yunga no son cuerpos de agua aislados sino sistemas complejos y son, por tanto, esenciales para la dinámica de las micro-cuencas en las altas montañas así como de otros sistemas hidrográficos, pues sus aguas fluyen hacia las vertientes de la Amazonia.

Los departamentos Huanuco y San Martín, zona de estudio, están considerados entre las áreas amazónicas con mayores disturbios forestales y deforestación anual [13]. Debido a este impacto, la biodiversidad, la calidad del hábitat, nivel de endemismo y la dinámica de los humedales de las yungas están siendo afectados significativamente.

En esta zona se identificaron 182 humedales (más 1 en campo), los que comprenden 16 209 429,7 m<sup>2</sup> de espejo de agua, cuya área y posición en coordenadas UTM y geográficas se muestran en la Tabla 2 y su ubicación política se indica en la Figura 1. La Figura 2 es una muestra de las imágenes satelitales de humedales verificados en campo y su denominación y clasificación según estructura jerárquica se indican en la Tabla 3. Se ha determinado que la mayoría de humedales se localizan en el departamento de San Martín (108 humedales) tal como se indica en la Tabla 4.

Al hacer análisis del área superficial de estos cuerpos de agua, se ha establecido que la mayoría de humedales tiene un rango mayor o igual a 1 ha pero menor de 10 ha. conforme se muestra en la Tabla 5.

Tabla 2.- Base de Datos: Humedales identificados en la Ecorregión Yunga de los departamentos Huanuco y San Martín

Código	Area (m <sup>2</sup> )	Coordenadas UTM		Departamento
		Este	Norte	
1	18654.800	390647.62	8892193.10	Hco.
2	16542.000	395342.00	8890902.00	Hco.
3	38556.884	395836.38	8891498.61	Hco.
4	20822.000	390867.00	8889692.00	Hco.
5	50322.500	393357.00	8889731.50	Hco.
6	288268.844	391282.65	8888354.32	Hco.
7	8857.000	414679.50	8883109.00	Hco.
8	44639.000	414117.50	8879814.50	Hco.
9	427000.000	398151.50	8877678.00	Hco.

10	179930.693	398582.50	8876391.16	Hco.
11	78429.000	396703.50	8873253.00	Hco.
12	241623.599	397524.00	8871813.42	Hco.
13	117571.000	397864.00	8870736.00	Hco.
14	31157.500	403254.00	8873797.00	Hco.
15	33933.000	403602.50	8872748.50	Hco.
16	144969.000	399791.50	8871479.00	Hco.
17	76022.220	398915.50	8871004.78	Hco.
18	30332.378	392836.35	8865154.19	Hco.
19	59858.454	400052.50	8861562.23	Hco.
20	39793.127	395020.50	8857601.99	Hco.
21	121136.223	397554.40	8858640.44	Hco.
22	34891.692	397010.50	8855264.47	Hco.
23	42916.500	337579.00	8888753.00	Hco.
24	97412.500	379484.50	8889376.50	Hco.
25	18369.500	387366.00	8891208.50	Hco.
26	105052.468	395355.99	8894792.60	Hco.
27	10696.413	404283.05	8898343.67	Hco.
28	2650.500	355319.50	8915466.00	Hco.
29	10059.000	365849.00	8940775.50	Hco.
30	6528.500	366507.50	8940284.00	Hco.
31	12645.500	366653.50	8939561.50	Hco.
32	22916.500	368650.00	8938206.00	Hco.
33	51870.000	369342.50	8937625.00	Hco.
34	59950.000	370247.00	8923949.50	Hco.
35	25936.500	370681.00	8938340.00	Hco.
36	25924.500	371138.00	8937036.50	Hco.
37	82356.000	371868.50	8940197.00	Hco.
38	41464.500	372222.50	8939080.50	Hco.
39	3814.500	378210.50	8898564.00	Hco.
40	6358.000	378687.00	8896773.50	Hco.
41	64239.000	379376.00	8900058.00	Hco.
42	35863.000	379315.00	8895784.50	Hco.
43	152095.000	380452.00	8897406.00	Hco.
44	112780.500	382095.50	8896917.00	Hco.
45	14169.000	310414.98	8924640.96	Hco.
46	13345.500	310162.48	8924935.96	Hco.
47	15520.664	356883.73	8960983.85	Hco.
48	137140.349	357756.46	8960388.53	Hco.
49	155020.393	357159.22	8958938.14	Hco.
50	8848.626	340942.94	8955271.52	Hco.
51	42735.333	351794.60	8956891.91	Hco.
52	30592.465	354937.52	8957170.12	Hco.
53	29530.081	352894.61	8955629.62	Hco.
54	72977.503	349784.07	8955166.73	Hco.
55	24615.725	355991.27	8957604.29	Hco.
56	13551.563	359465.91	8956426.50	Hco.
57	28354.882	362723.85	8957507.01	Hco.
58	60074.020	362945.98	8958565.92	Hco.
59	11429.206	358613.52	8951220.35	Hco.
60	55068.960	357454.86	8952005.36	Hco.
61	35701.632	358778.35	8953401.36	Hco.
62	65888.120	390678.05	8988951.87	Hco.
63	76609.970	390123.30	8989884.63	Hco.
64	12297.258	310143.66	9001040.39	Hco.
65	17622.483	310183.16	9000849.97	Hco.

66	99905.924	318073.68	8978120.96	Hco.
67	44788.516	322756.28	8970612.88	Hco.
68	42673.241	324239.11	8966956.66	Hco.
69	11824.037	324738.36	8965762.59	Hco.
70	6191.753	326147.20	8964982.38	Hco.
71	8161.591	325474.83	8964482.25	Hco.
72	10346.834	329566.43	8955020.77	Hco.
73	86897.487	301508.83	9057346.27	Hco.
74	115389.847	303791.55	9056376.34	Hco.
75	130927.925	308422.93	9058074.06	S.M.
76	242138.584	309684.78	9057127.14	Hco.
77	147912.907	310796.52	9056823.35	S.M.
78	125803.942	310630.08	9056169.32	Hco.
79	67783.157	308603.13	9055202.59	Hco.
80	77635.385	305061.65	9053281.02	Hco.
81	56919.413	310186.13	9054134.31	Hco.
82	34597.905	321986.17	9032405.73	Hco.
83	32497.794	322801.13	9031348.08	Hco.
84	22213.144	323999.77	9026474.02	Hco.
85	11678.509	323727.17	9023395.26	Hco.
86	79255.515	321653.83	9024195.76	Hco.
87	78052.153	312437.18	9018354.95	Hco.
88	68087.320	314641.49	9014544.62	Hco.
89	30564.080	312037.55	9013899.20	Hco.
90	22763.751	315163.84	9011006.87	Hco.
91	174722.000	278753.00	9037787.00	Hco.
92	35415.398	290013.96	9080812.79	S.M.
93	7942.174	290265.17	9079433.26	S.M.
94	23112.558	290718.89	9082734.09	S.M.
95	27477.614	291408.52	9084532.68	S.M.
96	17315.170	289321.93	9075315.59	S.M.
97	15019.210	289566.43	9075225.22	S.M.
98	80341.731	289850.59	9074690.59	S.M.
99	28191.579	292171.12	9075286.34	S.M.
100	3514.835	295536.59	9073334.03	S.M.
101	3823.259	295255.71	9073507.18	S.M.
102	5582.364	300756.17	9072775.88	S.M.
103	46992.596	293875.48	9074183.66	S.M.
104	34132.520	376996.83	9137742.29	S.M.
105	6901.896	376775.54	9136994.72	S.M.
106	21685.067	376564.36	9136625.13	S.M.
107	19641.155	375486.78	9139822.69	S.M.
108	17218.205	375152.46	9140189.23	S.M.
109	13572.470	373775.51	9143088.41	S.M.
110	12013.065	373871.43	9143414.17	S.M.
111	28652.717	373715.82	9143463.75	S.M.
112	15187.813	372427.29	9145858.08	S.M.
113	66156.065	365160.84	9129170.59	S.M.
114	108538.962	354537.75	9136427.06	S.M.
115	87848.144	354386.96	9137066.10	S.M.
116	19840.911	354585.12	9137047.76	S.M.
117	19829.321	352971.55	9140359.58	S.M.
118	41010.421	352337.91	9141718.08	S.M.
119	67004.879	352860.84	9141942.00	S.M.
120	35501.175	355566.71	9130737.34	S.M.
121	30728.258	356028.72	9132189.87	S.M.

122	44826.475	356148.28	9130153.84	S.M.
123	60894.324	356845.90	9130066.92	S.M.
124	47727.133	357101.69	9128690.50	S.M.
125	168985.104	224657.62	9163393.13	S.M.
126	86665.262	233263.60	9134032.27	S.M.
127	11900.500	221467.00	9168548.00	S.M.
128	2587.500	221590.00	9168354.00	S.M.
129	20172.000	221679.00	9167408.50	S.M.
130	3279.000	221753.50	9168345.50	S.M.
131	33688.500	217158.50	9191500.00	S.M.
132	77239.500	198588.00	9223848.50	S.M.
133	9649.500	199736.00	9219046.50	S.M.
134	50866.500	199899.50	9218746.50	S.M.
135	252657.500	202199.50	9215362.50	S.M.
136	110728.500	202287.50	9216110.50	S.M.
137	7344.000	206603.50	9220617.50	S.M.
138	17166.500	210896.50	9180823.50	S.M.
139	76679.500	212001.00	9181261.50	S.M.
140	11578.500	214938.00	9181652.00	S.M.
141	23445.500	215817.50	9182974.00	S.M.
142	38587.000	216847.50	9214675.50	S.M.
143	81453.000	217785.00	9179305.00	S.M.
144	20124.000	217584.00	9180749.50	S.M.
145	8191.500	217695.50	9200560.50	S.M.
146	28436.500	217824.50	9208757.50	S.M.
147	14976.500	218100.00	9214066.50	S.M.
148	95802.500	218272.00	9180050.00	S.M.
149	52362.000	218671.00	9197959.00	S.M.
150	232751.000	218786.50	9215009.50	S.M.
151	4416.000	219028.00	9199662.00	S.M.
152	28384.000	219294.50	9199565.00	S.M.
153	59723.000	220686.00	9206574.00	S.M.
154	21297.000	220794.50	9184153.00	S.M.
155	39231.000	221040.00	9196052.50	S.M.
156	270225.000	222380.50	9202263.50	S.M.
157	31569.500	221992.50	9199003.00	S.M.
158	3125.500	222136.00	9170230.00	S.M.
159	14198.000	222525.50	9176213.00	S.M.
160	45428.597	361947.13	9256187.61	S.M.
161	4737055.28	365557.35	9257720.78	S.M.
162	11071.874	256315.60	9246048.11	S.M.
163	61706.205	269914.63	9245497.16	S.M.
164	416120.936	197218.91	9227936.12	S.M.
165	63721.881	199574.87	9242463.48	S.M.
166	955385.030	202269.28	9242030.01	S.M.
167	124639.344	200911.90	9240742.08	S.M.
168	92226.840	206238.46	9234386.30	S.M.
169	113676.123	202425.33	9231269.68	S.M.
170	64744.920	217674.05	9333018.84	S.M.
171	26811.357	217080.91	9332275.43	S.M.
172	12324.287	216935.05	9332479.54	S.M.
173	6327.114	217819.10	9330981.60	S.M.
174	28103.383	218358.90	9331955.55	S.M.
175	13002.302	218722.30	9331701.47	S.M.
176	42214.519	246562.54	9362139.66	S.M.
177	48165.041	250787.04	9357486.57	S.M.

178	26228.317	249444.42	9357778.44	S.M.
179	63523.941	262849.80	9344205.08	S.M.
180	24018.582	263893.46	9344598.07	S.M.
181	140226.754	271639.16	9342423.10	S.M.
182	143545.000	210785.00	9376971.00	S.M.
	*****	362963.00	9256249.00	S.M.

Leyenda:

Hco. = Huanuco

S. M. = San Martín

\*\*\*\*\* Area no determinada, identificado durante trabajo de campo.

Tabla 3. Humedales clasificados *in situ*

Denominación local del Humedal	Estructura Jerárquica: Sistema	Ubicación Política (Departamento)
El Sauce	Lacustrino	San Martín
Limoncocha	Lacustrino	San Martín
Los Milagros	Lacustrino y palustrino	Huanuco
Tantamayo	Lacustrino	Huanuco
Mancapozo	Lacustrino	Huanuco
Linda 1	Lacustrino	Huanuco
Linda 2	Lacustrino	Huanuco

Tabla 4. Distribución de humedales por departamento

Departamento	Número de humedales
San Martín	108*
Huanuco	74
TOTAL	182

\* Mas 1 humedal tipo laguna identificado durante trabajo de campo

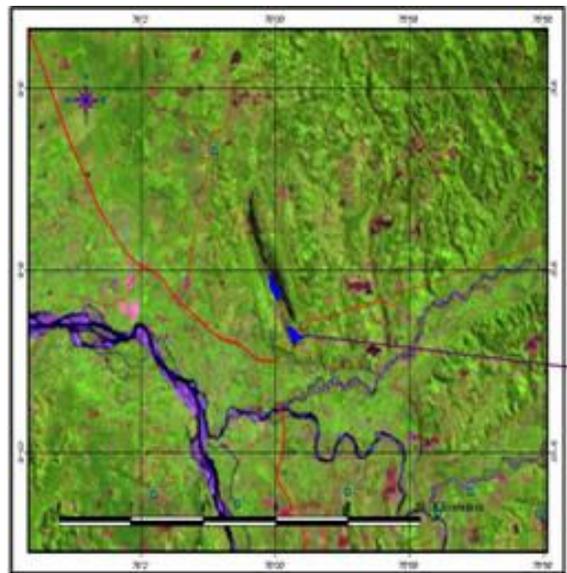


Figura 2. Imagen satelital del humedal laguna “Los Milagros”. En el centro se aprecia con una coloración azul al humedal. Según la base de datos este se ubica en Huanuco, provincia de Leoncio Prado, distrito José Crespo y Castillo, en la Tabla N° 2 esta considerado con el código 62.

Tabla 5. Clasificación de los humedales por rango de área

Rangos de áreas en hectáreas	Número de humedales
< 1	21
>=1 < 10	130
>= 10 < 20	21
> =20 < 40	6
> = 40 < 80	2
> = 80 < 100	1
> = 100 < 500	1

Esta base de datos generada, además de llenar los vacíos de información sobre humedales, provee información indispensable para la gestión y conservación de la biodiversidad y probable restauración ecológica en las yungas peruanas. Además, permitirá determinar la dinámica del paisaje en relación al desarrollo de actividades agrícolas, especialmente la agricultura migratoria, que es intensa en la zona [4,5 y 12].

### CONCLUSIONES

- Se han identificado 183 humedales en la ecorregión yunga amazónica de los departamentos de Huanuco y San Martín.
- La mayoría de humedales tienen un área entre 1 y 10 ha. y el humedal de mayor superficie es la laguna “El Sauce” que posee 473,71 ha.
- El área total de los humedales es de 1620,94 ha. lo que corresponde al 0,077% del área total de la zona de estudio.
- Se ha generado una base de datos georeferenciada que contribuye para futuras acciones de conservación y gestión de recursos naturales, en especial los humedales de la amazonia peruana.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a U.S. Fish and Wildlife Service, por el financiamiento parcial otorgado a través del Proyecto: “Apoyo al Programa en Gestión de Humedales en la Yunga Amazónica Peruana”, Grant N° 98210-6-G079.

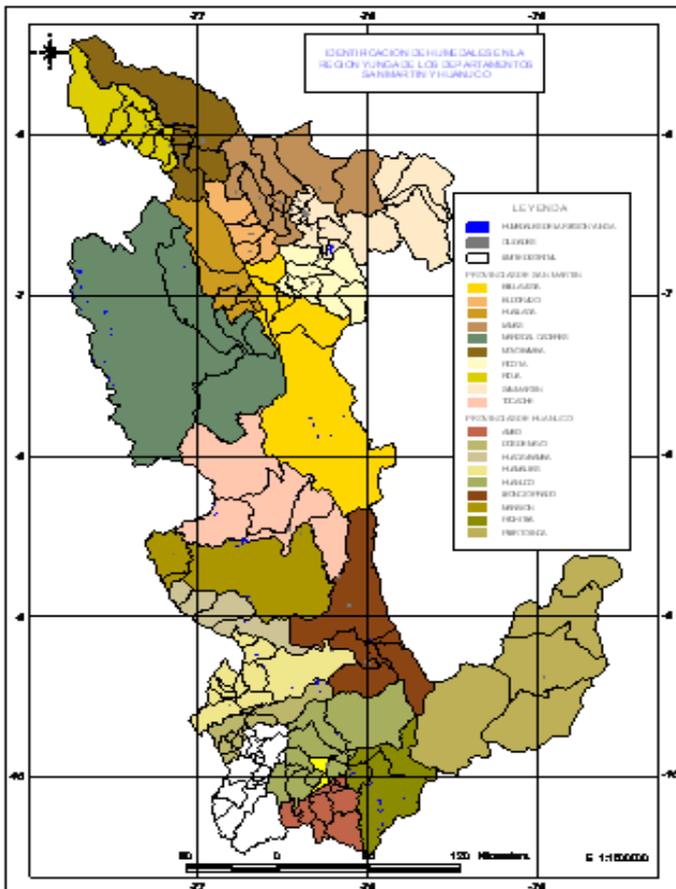


Figura 1.- Localización de los humedales por provincia y distrito en los departamentos de San Martín y Huanuco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Pulgar, J. 1987. Geografía del Perú. PEISA. Lima, Perú.
- [2]. Rodríguez, O. L. 1996. Diversidad biológica del Perú: Zonas prioritarias para su conservación. Proyecto FANPE GTZ-INRENA. Lima, Perú.
- [3]. INRENA. 1997. Estudio de la diversidad biológica. Vol. I, Diagnóstico Nacional. Lima, Perú.
- [4]. PEAH. 1992. Compendio estadístico agropecuario del Alto Huallaga. Proyecto Especial Alto Huallaga-Ministerio de Agricultura. Lima, Perú.
- [5]. Tovar, A. y J. Saito. 2003. Alternativa de manejo y conservación el sitio prioritario de la ecorregión Yungas peruanas: Bosques de las Yungas de San Martín – Huanuco (Alto Huallaga, Perú). Centro de Datos para la Conservación, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú.
- [6]. Secretaría de la Convención de Ramsar. 2006. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 4a. edi. Secretaría de la Convención de Ramsar. Gland, Suiza.
- [7]. Astrálega M.; X. Barrera y R. Montañés. 2005. Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos. Taller para la edición del documento de estrategia de humedales alto-andinos. 13 – 17 de febrero de 2005. Salta, Argentina.
- [8]. Salinas, W.; E. Treviño; J. Jaramillo y J. Campos. 2002. Identificación y clasificación de humedales interiores del estado de Tamaulipas por percepción remota y sistemas de información geográfica. in: Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. N° 49, 2002. pp: 74-91.
- [9]. ONERN, 1980. Inventario nacional de lagunas y represamientos. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Republica del Perú.
- [10]. Rodríguez-Mahecha, J; P. Salomón; P. Jorgensen; T. Consiglio; E. Forno; A. Telesca; L. Suarez; F. Arjona; F. Rojas; R. Bensted-Smith y V. Inchausty. 2004. Andes tropicales. in: Hotspots: Biodiversidad amenazada II. Edit. por CEMEX S.A. de CV. México. pp: 73-79.
- [11]. Cowardin, L. M.; V. Carter; F. C. Golet y E. T. Laroe. 1979. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington, D.C.
- [12]. CDC-UNALM y TNC. 2006. Planificación para la Conservación Ecoregional de las Yungas Peruanas: Conservando la Diversidad Natural de la Selva Alta del Perú. Informe Final. Lima, Perú.
- [13]. Oliveira, P.; G. Asner; D. Knapp; A. Almeyda; R. Galván-Gildemeister; S. Keene; R. Raybin y R. Smith. 2007. Land-Use Allocation Protects the Peruvian Amazon. in: Science. Vol. 317. N° 5842, pp: 1233 – 1236.

Email: maniqueal@hotmail.com

# VALORACION DEL BOSQUE SECO ALGARROBAL POR MEDIO DE UN PROGRAMA DE EDUCACION AMBIENTAL

## RECOGNIZING OF DRY FORETS ALGARROBAL BY INSTRUCTIVE THE PROGRAM OF ENVIROMENTAL EDUCATION

Alfredo Augusto Alzamora Arévalo <sup>a</sup>

### RESUMEN

El presente estudio analiza la importancia de un programa de educación ambiental y observa cómo influye en la valoración del ecosistema del bosque seco algarrobal por parte de los estudiantes del primer grado de educación secundaria de la IEFAP "Samuel Ordóñez V." y "C.N. San Miguel" de Piura. El tipo de investigación es explicativa, utilizando el método cuantitativo-cualitativo, con un diseño cuasi-experimental para lo cual pusimos en práctica un Pre Test y Post Test, para medir las capacidades específicas del área de Ciencia Tecnología y Ambiente referida al contenido diversificado del bosque seco. El programa de educación ambiental tuvo como escenario los bosques de áreas naturales reconocidas por organismos de la región, cuyo ámbito de estudio se situó en el Parque Municipal Kurt Beer (Piura), Comunidad Campesina San Francisco de Locuto (Tambogrande) y Comunidad Campesina Ignacio Távara (Chulucanas) por medio de la técnica de visitas instructivas. Los resultados -analizados mediante técnicas de estadística descriptiva e inferencial - demuestran con valores cuantitativos y cualitativos que es favorable el aprendizaje y formación integral de los estudiantes; llegando a la conclusión de que el programa de educación ambiental por medio de las visitas instructivas es significativo para la valoración del ecosistema del bosque seco en relación con las capacidades, destrezas y actitudes que deben aprender los estudiantes de la región Piura, para la conservación y uso sostenible de este recurso.

**Palabras claves:** educación ambiental, valoración, bosque seco, Piura.

### ABSTRACT

The present research analyzes the importance of a program of environmental education and how it influences on recognizing the real meaning of the ecosystem of dry forest "algarrobal", being part of the development of this research the students of first grade of secondary education at IEFAP " Samuel Ordóñez V" and "C.N. San Miguel" of Piura. The investigation type is explanatory using the quantitative and qualitative method, with a quasi-experimental design so a pre environment area referred to the diversified topic of the dry forest was applied . The program of environmental education aimed at the forests of natural areas recognized by organisms of the region , of which environment study was located at the Municipal Park called Kurt Beer in Piura, Rural Community San Francisco of Locuto in Tambogrande and Rural Community Ignacio Távara in Chulucanas, used the technique of instructive visits. The results were analized by means of descriptive statistics and inferential techniques demonstrate with quantitative and qualitative results where the learning and the students integral formation are favourable. Thus, it is concluded that the program of environmental education by instructive visits is significant for the valuation of the ecosystem of the forest with close relationship to the capacities, skills and attitudes that students from Piura should learn to keep and use this natural resource suitably.

**Key words:** environmental education, valuation, dry forest, Piura.

### INTRODUCCION

La presente investigación aborda un contenido transversal del Diseño Curricular Nacional como es la educación ambiental y orientado al ecosistema típico de la región Piura como es el bosque seco algarrobal , como característica del currículo diversificado y al mismo tiempo utilizado como recurso de enseñanza aprendizaje convirtiéndose en una aula natural para hacer educación ambiental con los estudiantes del nivel secundaria

El currículo del área de Ciencia Tecnología y Ambiente (CTA) del primer grado de secundaria de la provincia y región Piura no contempla en sus contenidos lo referente al bosque seco. Como consecuencia los educandos no reconocen la valoración que tiene este ecosistema y por ello es que a partir de un Programa de Educación Ambiental vía los viajes de estudios a los

bosque de algarrobo observen la riqueza e importancia que tiene para la región norte (Piura), el Perú y el mundo este recurso natural y a partir de ello valorarlo por medio de ciertas capacidades y destrezas. Son objetivos de nuestra investigación determinar las capacidades y actitudes de valoración al bosque seco por parte de los estudiantes después de participar en un Programa de Educación Ambiental (PEA), Identificar el nivel de valoración hacia el bosque seco, que tiene los estudiantes y Proponer un PEA desde el área de CTA que ayude a la valoración del bosque seco.

El tema de educación ambiental, si bien es cierto es un tema transversal del Diseño Curricular Nacional en tanto existe una honda preocupación por el entorno, no obstante éste no se visualiza en actitudes positivas hacia los recursos naturales por lo que concebimos que a través del campo educativo debemos abordar con mayor énfasis la importancia que tienen estos recursos si son

<sup>a</sup> Docente de la IE. Samuel Ordóñez y C.N San Miguel de Piura

usados de manera racional. Por ello nuestra propuesta apunta a tratar -desde el área curricular de Ciencia Tecnología y Ambiente del primer grado de secundaria- esta perspectiva de ver la educación ambiental en el campo mismo de los hechos.

La naturaleza de la presente investigación tiene, pues, un carácter de propuesta, para ser utilizada por los docentes de los niveles de educación primaria y secundaria porque contiene materiales organizados en una serie de actividades significativas que el docente puede aprovechar adaptándolas a su necesidad e interés, de tal manera que las visitas de estudio sean para aprovechar lo que tenemos más cerca los piuranos, como es nuestro bosque seco de algarrobos, que puede ser motivador cuando se tenga que salir al campo, y que mejor si se le da un carácter integrador de áreas del conocimiento llámese Matemática, Comunicación, Arte, Ciencias Sociales; pero sobretodo de carácter actitudinal, que el estudiante aprenda a valorar lo que tiene en materia de recursos naturales, para así poderlos defender, proteger, usar de manera sostenible y sentirse orgulloso de lo que tiene.

## **MATERIALES Y METODOS**

En estas actividades se utiliza una metodología activa y participativa, que trata al estudiante que visita el área de estudio como el principal componente del proceso educativo y procura un aprendizaje significativo, donde se relacione lo vivencial y experimental con lo que se aprende por medio de la investigación científica. Como podemos apreciar, las visitas instructivas, planificadas ahondan el conocimiento de la realidad de estudio en los educandos. Los educandos llegan al área de estudio, reciben las recomendaciones para el trabajo en el bosque, se inicia con una dinámica para afinar los sentidos y conocer la naturaleza del bosque, luego los equipos de investigación se organizan y se dirigen según el sector de trabajo. Se inicia la caminata por el bosque, donde los educandos irán descubriendo sus secretos.

Los contenidos del programa de educación ambiental están orientados hacia un enfoque integral, principalmente hacia las ciencias ambientales, mediante el método científico. Con este método los educandos observan, discuten, manipulan e infieren sobre la naturaleza, con la guía y orientación del docente. El niño infiere en este aprendizaje todos estos aspectos mencionados, el educador es el orientador-guía que, después, viene a reafirmar conceptos y conocimientos. Se trata de que los estudiantes mediante la observación e investigación lleguen al conocimiento por ellos mismos. Hay que enfatizar que esta manera de aprender es novedosa e innovadora del proceso formal de aprendizaje. Es por ello que esta forma de aprender en el programa de educación ambiental guía al educando a ser más inquisitivo, más capaz de aprender por sí mismo y más inclinado a no aceptar los hechos sin pensar.

Un día de campo corresponde a varias horas de trabajo, con caminatas por el bosque; los educandos utilizan materiales que ayudan a una mejor observación de algunas especies: lupas, redes, vasos plásticos, cintas métricas, guías de campo, redes acuáticas,

termómetros, cámaras de video, fotográfica, botiquín, etc. Asimismo, cada educando cuenta con su libreta de apuntes, lápices de colores, cartulina, regla, plumones, papelotes etc. Los informes preliminares son expuestos a manera de talleres a la sombra de los árboles y los informes finales se presentan a manera de simposio en el aula.

El trabajo se realizó teniendo en cuenta la aplicación de la variable independiente Programa de educación Ambiental con lo estudiantes del primer grado de secundaria. El método cuantitativo consistió en aplicar un pretest con 14 ítems e indicadores con una escala vigesimal acerca de la valoración del bosque seco que tienen los estudiantes, obteniendo al término de la prueba cuatro resultados: una calificación por cada una de las tres capacidades del área de Ciencia tecnología y Ambiente y un promedio de las tres respectivas. Posteriormente se aplicó el Programa de Educación Ambiental por medio de la técnica de visitas instructivas al bosque seco algarrobal de diversas áreas de la región tales como "Parque Ecologico Municipal Kurt Beer de Piura, El bosque de la Comunidad Campesina "San Francisco de Locuto" de Tambogrande y el Bosque de la Comunidad Campesina "Ignacio Távara" de Chulucanas. Para la puesta en práctica del Programa de Educación Ambiental, los estudiantes han utilizado estrategias correspondientes al uso y aplicación del método científico.

## **RESULTADOS**

Al concluir dicho programa se aplicó un test de salida que nos permitió determinar de manera cuantitativa en base a los valores numéricos la valoración vigesimal del contenido de bosque seco, tanto en el Pretest y post test. Con los resultados numéricos de los test correspondientes se hizo una valoración cualitativa comparando tres escalas:

- Esta iniciando el aprendizaje.(C)
- Esta en proceso de aprendizaje (B)
- Logró aprender(A).

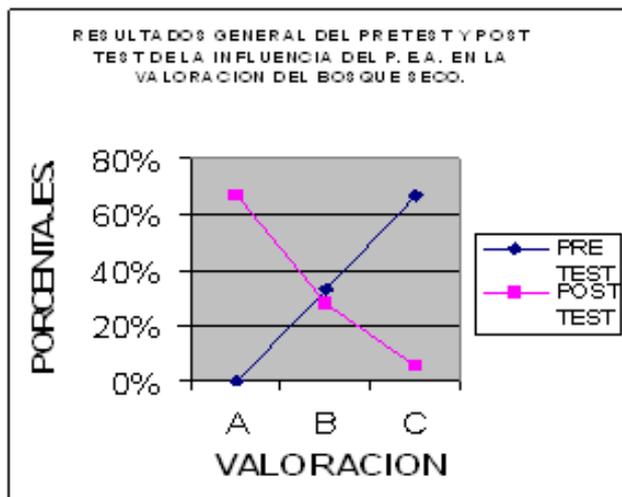
Ello nos permitió hacer la evaluación correspondiente en la muestra de estudio acompañado de graficas estadísticas y sus respectivas interpretaciones.

## **DISCUSION.**

Los hallazgos obtenidos en esta muestra poblacional nos demuestra que existe una influencia notoria y positiva del Programa de Educación Ambiental en la valoración del bosque seco tal como lo confirman los valores de la estadística descriptiva e inferencial del Pre Test y Post Test. Esto indica que existe una significativa diferencia en forma cualitativa y cuantitativa entre el Pre Test y el Post test, Al cruzar los resultados de ambas pruebas vemos la influencia positiva puesto que los resultados se invierten de manera porcentual. (ver cuadro 1)

Nuestra experiencia reporta el desarrollo de actividades experimentales dentro de la misma naturaleza a nivel de educación secundaria. Por esta razón las visitas instructivas son una estrategia que involucra la

posibilidad no sólo de aprender Ciencia, Tecnología y Ambiente sino también otras áreas por ser un contenido transversal de mucha importancia para toda la población.



Cuadro 1. resultado comparativo entre el pretest y post test para la valoración del bosque seco por medio de un PEA

## CONCLUSIONES.

- La influencia del Programa de Educación Ambiental es cuantitativamente y cualitativamente significativo en cuanto a la valoración del bosque seco algarrobal .
- Los estudiantes logran desarrollar destrezas como: describe, infiere, reconoce, clasifica, discrimina, formula hipótesis a las diversas situaciones problemáticas del bosque seco; así como opina, argumenta, analiza y plantea alternativas a los problemas y amenazas de este ecosistema.
- El bosque seco algarrobal es un laboratorio natural que nos permite desarrollar actividades experimentales que viabilizan el aprendizaje de las ciencias, de la educación ambiental y una mayor actitud valorativa por el ambiente.
- Se ha logrado aplicar fundamentos de Diseño Curricular Nacional como la educación ambiental como tema transversal y del bosque seco como contenido diversificado de la región Piura

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- [1]. BERNEX, Nicole. Nosotros y los Andes. Ambiente y Educación. Lima: Ministerio Educación-COSUDE;1997
- [2]. BRACK, Antonio; PLENGE Heinz. Perú Maravilloso.Lima: Editorial EPENSA;2002
- [3]. BRACK, Antonio; Mendiola, Cecilia.Ecología del Perú. Lima: Editorial Bruño; 2000.
- [4]. DIRECCION REGIONAL DE EDUCACION. PIURA. Lineamientos para la Diversificación Curricular en la Región. Piura: S/e ; 2004
- [5]. FROTA PESSOA, Oswaldo .Principios Básicos para la enseñanza de la Biología. Washington D.C.: OEA.;1967
- [6]. GONZALES, Elia.. Manual Práctico de Educación Ambiental. Loja: Ediciones Fundación Arco Iris;1986
- [7]. MINISTERIO DE EDUCACION . Diseño Curricular Nacional de Educación
- [8]. Lima: MINEDU;2005.
- [9]. VELÁSQUEZ DE CASTRO, Federico. Educación Ambiental. Madrid: Ediciones NARCEA;1995
- [10]. WUST, Walter. Ecología del Perú. Lima: Editora Nacional. Diario Expreso;2000

E-mail: alzamora3a@yahoo.com  
alzamora3a@hotmail.com

# INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN LA ASIGNATURA DE ECOLOGÍA INDUSTRIAL

Salazar Zegarra, Sonia Mirtha

## Resumen

En países en vía de desarrollo como el Perú, se considera necesario que el resultado tanto de la formación teórica-práctica como de la investigación aplicada en las Escuelas de Ingeniería Industrial, sean propuestas de mejora y crecimiento industrial en armonía con el medio ambiente, ello podrá ser alcanzado por profesionales capaces, innovadores y con valores ambientales. Para alcanzar esta meta, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santo Toribio Mogrovejo propone, como parte del currículo, el desarrollo de la investigación formativa como eje transversal de sus asignaturas. Así este trabajo de investigación se centra en el diseño y desarrollo de la intervención en aula para la asignatura de Ecología Industrial, correspondiente al IV ciclo de Ingeniería Industrial, durante los semestres 2007- I y 2008-I, empleando como estrategia pedagógica de base la investigación formativa a fin de lograr la mejora del aprendizaje- enseñanza.

Los logros del aprendizaje se recogen con diversos instrumentos de evaluación, en particular con reportes de investigación que hacen operativos, los procesos de investigación formativa. Mediante estos reportes se evidencia que dicha estrategia, posibilita la formación de profesionales que la sociedad necesita, al crear espacios que posibilitan integrar conocimientos con la aplicación específica de los mismos, de forma que el estudiante realiza acciones de práctica, que le permitirán desarrollar competencias para la realización de investigación en sentido estricto. La generación de situaciones problemáticas iniciales de Ecología Industrial, en torno a una industria en particular, ha permitido al estudiante organizar y desarrollar conocimientos, aunque sean conocimientos ya existentes, aplicándolos en torno a sus expectativas y condiciones académicas profesionales específicas.

Los resultados alcanzados evidencian que, con un diseño modelo T para la asignatura de Ecología Industrial y empleando como estrategia base la investigación formativa, se desarrollan en los estudiantes procesos en y para la investigación, incorporando progresivamente los contenidos propios de la asignatura en una aplicación industrial concreta, alcanzando con éxito los logros de aprendizaje establecidos, desarrollando además responsabilidad con el aprovechamiento industrial y cuidado de los recursos naturales. Colateralmente, este tipo de intervención en aula ha posibilitado, el desarrollo armónico de las tareas de investigación, docencia y responsabilidad ambiental del profesor universitario.

## ABSTRACT

In developing countries as Peru, it is considered necessary that the result both of the theoretical - practical formation(training) and of the research applied in the Schools of Industrial Engineering, should be proposed of improvement and industrial growth in harmony by the environment, it will be able to be reached by capable, innovative professionals and with environmental values. To reach this goal, the Faculty of Engineering of the Catholic University Saint Toribio Mogrovejo proposes, as part of the curriculum, the development of the formative investigation as transverse axis of yours subjects. This way this work of research centres on the design and development of the intervention on classroom for the subject of Industrial Ecology, corresponding to the cycle IV of Industrial Engineering, during the semesters 2007-I and 2008-I, using as pedagogic strategy of base the formative investigation in order to achieve the improvement of the learning – education.

The achievements of the learning gather with diverse instruments of evaluation, especially with reports of research that they make operative, the processes of formative investigation. By means of these reports there is demonstrated that the above mentioned strategy, it makes possible the professionals' training that the society needs, on having created spaces that they make possible to integrate knowledge with the specific application of the same ones, so that the student realizes actions of practice, which will allow him to develop competitions for the accomplishment of research in strict sense. The generation of problematic initial situations of Industrial Ecology, around an industry especially, has allowed to the student to organize and to develop knowledge, though it is already existing knowledge, applying them concerning yours expectations and academic professional specific conditions.

The reached results demonstrate that, with a design I shape T for the subject of Industrial Ecology and using as strategy base the formative investigation, processes develop in the students in and for the research, incorporating progressively the own contents of the subject in an industrial concrete application, reaching successfully the achievements of learning established, developing in addition responsibility with the utilization industrial and taken care of the natural resources. Colateralmente, this type of intervention in classroom has made possible, the harmonic development of the tasks of research, teaching and environmental responsibility of the university teacher.

## INTRODUCCIÓN

La exigencia de la formación profesional en Ingeniería es de vital importancia para países en vías de desarrollo, como el Perú. Es una necesidad que las Escuelas de Ingeniería, en particular las de Ingeniería Industrial,

formen profesionales innovadores que realicen propuestas de mejora y crecimiento industrial del país en armonía con el medio ambiente, de acuerdo a la exigencia de la formación profesional como en la investigación aplicada. Al respecto en [1] se menciona que existe una relación biunívoca entre educación y

<sup>a</sup> Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú.

desarrollo, ya que son los sistemas educativos dominantes los que determinan el tipo de sociedad y de individuo que prevalece y, por consiguiente, el grado, la forma y, sobre todo, la orientación del desarrollo que se pretende lograr. Tomando en cuenta este aspecto, la asignatura de Ecología Industrial se integra a la Educación para la Sostenibilidad (ONU – UNESCO), pues se abordan aspectos esenciales de crecimiento industrial relacionados con la construcción de sociedades y futuros más sostenibles.

Como parte de su forma de ser la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santo Toribio Mogrovejo, propone dentro del currículo el desarrollo de la investigación formativa como eje transversal para las asignaturas de formación profesional, unida, en el caso particular de Ecología Industrial, al concepto de sostenibilidad.

Al respecto, se coincide con [2] cuando se menciona que por la misión investigativa la universidad debe generar conocimiento descriptivo, explicativo, predictivo y tecnológico, mediante las investigaciones de grado y las de los Centros de Investigación, de esta manera se desarrolla investigación científica en sentido estricto, sin embargo por la función pedagógica la universidad debe centrar su atención en la investigación formativa. A su vez en [3] se menciona que las universidades deben reestructurar sus espacios de producción, difusión y transferencia del conocimiento, empleando la investigación como medio de cambio. Así es necesario, desarrollar procesos académicos de enseñanza y aprendizaje que propongan y desarrollen estrategias para potenciar la investigación, integrándola en el currículo como eje transversal.

La articulación de la investigación con la formación profesional tal como propone [4], se desarrolla incorporando en el currículo una metodología de desarrollo de contenidos relacionados con los métodos y problemas de investigación propios de cada disciplina de la formación profesional. También menciona que, una docencia investigativa enlazada con el currículo académico, aporta al desarrollo de la función de la investigación propia de la institución universitaria y pone al alcance de profesores y estudiantes la cultura de la investigación.

Así mismo se coincide con [5] cuando mencionan que, el uso de estrategias didácticas para el aprendizaje de las ciencias, tales como la investigación orientada con la secuenciación adecuada de contenidos, posibilita un proceso de formación en investigación análogo a la formación inicial de futuros investigadores y, por ello, el modelo de aprendizaje se denomina de investigación orientada o formativa tal como es definida por [6]. Como características resaltantes de la investigación formativa, se mencionan: a) no se orienta a la formación de conocimiento objetivamente nuevo, sino a la apropiación significativa de conocimiento ya elaborado, b) tiene una intención curricular, en el sentido de ser camino para el desarrollo de procesos de enseñanza-aprendizaje, vinculados con objetos de conocimiento predeterminado, c) se destaca como estrategia pedagógica para el desarrollo del currículo y, d) los agentes investigadores son sujetos en formación profesional.

Como técnicas de investigación formativa se señalan, los ensayos estructurados, el método ABP, los Pre-seminarios investigativos y las Monografías Investigativas, entre otros. Se reconoce las bondades de esta última pues, *un trabajo monográfico correctamente estructurado y bien desarrollado, constituye un excelente ejercicio de investigación, en el que se integran la apropiación autónoma y significativa de contenidos académicos, el desarrollo de procesos cognitivos complejos y la adquisición de competencias significativas* [8]

Así, este trabajo se centra en el diseño de intervención de aula para la asignatura de Ecología Industrial, correspondiente al III ciclo de Ingeniería Industrial en los semestres, 2007-II y 2008-I, empleando como estrategia pedagógica de base la investigación formativa. A fin que el estudiante proponga la evolución de modelos ecológicos para una industria en particular, mediante la elaboración de una monografía investigativa donde se tome en cuenta las interacciones de la industria con la biosfera, bajo un criterio de armonía con la naturaleza y evidenciando la mejora de la conciencia ambiental, mediante el diseño de sistemas ecológicos industriales y ciclos de vida de los productos.

La asignatura de Ecología Industrial de acuerdo a lo planteado por [9], desarrolla el concepto de ecología industrial como un producto de la evolución de los paradigmas sobre manejo ambiental y de la integración de nociones de sostenibilidad en los sistemas económicos y ambientales, en los cuales los procesos productivos son concebidos como parte integral del ecosistema. Este concepto surge de la percepción de que, la actividad humana está causando cambios inaceptables en los sistemas básicos de soporte ambiental. A su vez [10] destacan que, es imprescindible incorporar la educación para la sostenibilidad, como un objetivo clave en la formación de los futuros ciudadanos y ciudadanas, para hacer comprender la necesidad de realizar acciones que contribuyan a un futuro sostenible en los diferentes ámbitos: consumo responsable, actividad profesional y acción ciudadana.

Los resultados alcanzados evidencian que, la investigación formativa permite a los estudiantes desarrollar procesos en y para la investigación, incorporando progresivamente los contenidos propios de la asignatura en una aplicación industrial concreta, desarrollando además responsabilidad en el aprovechamiento y cuidado de los recursos naturales. Colateralmente, se logra el desarrollo armónico de las tareas de investigación, responsabilidad ambiental y docencia del profesor universitario.

## METODOLOGÍA

Los referentes teóricos presentados, orientan el diseño de los materiales empleados en el proceso de enseñanza-aprendizaje, a saber: a) diseño del sílabo de asignatura de Ecología Industrial aprobado por Dirección de Escuela de Ingeniería Industrial, b) lecturas varias conformando 11 separatas temáticas, c) 02 casos emblemáticos, d) 02 videos y películas temáticas, e) 01 formato de reportes de visita técnicas, f) 01 *ficha guía para la presentación del trabajo de investigación*

formativa, g) 01 ficha esquema para exposición final, teniendo como instrumentos de evaluación: a) pruebas de ensayo, b) reportes de visitas técnicas, c) 01 listas de cotejo para la presentación de monografía investigativa. Los resultados de los indicadores de logro, se recogen mediante las fichas de evaluación individual y en pares, tanto del trabajo desarrollado en aula como de las tareas previstas, asistencia a asesoría, participación oral y sustentación pública del trabajo de investigación formativa.

Respecto a la metodología de trabajo para la elaboración de la monografía investigativa, en el transcurso del proceso de enseñanza-aprendizaje de Ecología Industrial y en un marco de investigación formativa, ella se inicia con la delimitación del problema de investigación que será el núcleo temático alrededor del cual se indaga continuamente, ya que está articulado con los contenidos de la asignatura establecidos. Por ello existe un continuo acercamiento y redimensionando de los contenidos de enseñanza situándolos en torno a una situación problemática formulada como, *¿Cuál es el diseño ecológico tipo III que evidencia de mejora manera los contenidos de Ecología Industrial, para una industria en particular?*

A continuación, y en forma sostenida, cada estudiante realiza la búsqueda bibliográfica que permite la clasificación y el ordenamiento de la información, contextualizando así, los objetos de enseñanza de manera que se constituyen en aprendizajes significativos. Se usan técnicas de observación y recogida de datos para la argumentación y formulación de una propuesta de modelo ecológico industrial, que se constituye como una experiencia que favorece la apropiación del objeto de estudio. Estos elementos posibilitan la elaboración del reporte de investigación, que permite la estructuración de ideas de acuerdo a la información recogida y en torno a la problemática a resolver, integrando los objetos de enseñanza como elementos indispensables para la argumentación y solución de la misma. La exposición pública de los trabajos de investigación formativa y la inclusión de técnicas cualitativas de análisis de información, permite elaborar juicios críticos sobre la validez del aprendizaje.

## RESULTADOS

Para el logro de los objetivos propuestos, se desarrolla el diseño e intervención en aula de acuerdo al paradigma de la Sociedad del Conocimiento y siguiendo la estructura del Modelo T de programación propuestos por [11] y destacados por [12]. Así se tiene en la tabla 1 el diseño del modelo T para la asignatura en estudio.

**Tabla 1. Diseño del Aprendizaje para la asignatura de Ecología Industrial (16 sesiones)**

CONTENIDOS	ESTRATEGIAS TÉCNICAS / EVALUACIÓN
1) Cambio climático y efecto invernadero. Orientación PNUMA para el crecimiento industrial	1.- Separatas y documentos en aula virtual / Registro virtual de desempeño
2) Teoría de Desarrollo sostenible. Fundamentos de Ecología Industrial. Modelos ecológicos Industriales Huella Ecológica y sostenibilidad. Capacidad de carga. Metabolismo Industrial	2.- Lectura comprensiva: esquema y extracción de ideas principales. / Intervención Oral
	3.- Análisis casos / Discusión

Peruano.	y Reporte escrito en pares
3) Simbiosis industrial. Casos: Kalundborg y Kwinana	4.- Exposición final del trabajo / Interrogación elaborativa
4) Des-materialización. Des-carbonización. Caso Minería Peruana. – La Oroya	5.- <i>Diseño del trabajo de investigación formativa referida la aplicación de lineamientos de Ecología Industrial en la evolución de modelos ecológicos y a los ciclos de vida de los productos para una industria en particular. / Reporte escrito vía virtual de acuerdo a las consideraciones establecidas.</i>
5) Energías renovables y alternativas. Combustibles ecológicos. El proceso de des-carbonización en el sistema peruano. Perspectivas sostenibles para la generación de energía. Pilas de Hidrógeno. Pilas de combustible: tecnología limpia	7.- Presentación de videos y software educativos / Informe de desarrollo de actividad.
6). Ciclo de vida de productos, envases y embalaje	8.- Visita técnica a una industria regional / Informe de visita técnica
7) Diseño para el medio ambiente. Productos normados por el medio ambiente	
8) Parques eco industriales. Eco – diseño. Eco Etiquetado	
9) Eco-eficiencia. Producción Más Limpia	
OBJETIVOS	
CAPACIDADES – DESTREZAS	VALORES - ACTITUDES
a)Recepción: -Observación - Lectura -Identificación - Interrogación b)Reflexión: -Análisis Comparación -Formación de conceptos - Síntesis - Interpretación - Evaluación crítica - Argumentación c)Creación: - Originalidad - Cambio d)Retención: - Fijación - Evocación e)Expresión práctica: -Aplicación de conocimientos a problemas concretos. - Expresión oral y escrita	a)Intelectuales: -Hábitos de estudio - Claridad de expresión - Adhesión a la verdad - Rigor científico b)Prudenciales: - Iniciativa - Audacia en los proyectos c)Sociales: -Veracidad - Generosidad -Trabajo en equipo d)Individuales: - Perseverancia - Esfuerzo - Dominio de sí mismo - Sencillez -Autonomía

En la elaboración de la monografía investigativa, la fuente de problemas es la que ofrecen los sectores industriales, así los trabajos de investigación están orientados al análisis de determinada situación problemática en una industria en particular, para proponer alternativas de desarrollo industrial denominados modelos ecológicos industriales como soporte para la toma de decisiones. Los temas a investigar son elegidos al inicio de la asignatura, de manera que son presentados y discutidos en aula según un cronograma de actividades establecido, así mismo mediante asesorías se orienta la ejecución de la investigación formativa.

En los instrumentos de evaluación empleados, los ítems confeccionados se orientan al análisis, la comparación, la síntesis y la interpretación de la información con que se cuenta. Así mismo, se brindan espacios de discusión en pares, se promueve el trabajo individual y autónomo así como la solidaridad y trabajo cooperativo. Es condición necesaria que el estudiante realice lectura previa de las separatas asignadas a fin de contribuir a la discusión en aula.

Así mismo, es necesario la formulación de logros e indicadores de aprendizaje que orientan la formulación de ítems en los instrumentos de evaluación formativa y

continua, tal como se observa a continuación en la tabla 2.

**Tabla 2. Logros de Aprendizaje – Instrumentos de Evaluación: Ecología Industrial**

Logros de aprendizaje	Indicadores de logro	Instrumentos de Evaluación Formativa
<b>LA1.</b> Propone la evolución de modelos ecológico industriales, tomando en cuenta las interacciones con la biosfera, bajo un criterio de armonía con la naturaleza	<b>A1.1</b> Identifica componentes temáticos mínimos, conceptos y definiciones, en la realización de su trabajo. <b>A1.2</b> Integra los subsecuentes objetos de aprendizaje, a partir de componentes conceptuales mínimos, incorporándolos en su actividad investigativa. <b>A1.3</b> Formula nuevos objetos de aprendizaje y los transfiere en contextos nuevos, basándose en los principios aprendidos	- Reporte de investigación presentado vía aula virtual, de acuerdo a las normas establecidas - Asistencia a asesoría - Intervenciones orales - Pruebas de libro abierto individuales y en pares - Exposiciones orales - Revisión continua de trabajos cortos - Fichas de evaluación
<b>LA2.</b> Desarrolla conciencia ambiental, mediante el análisis de los objetos de estudios de la ecología industrial, incorporándolos en el desarrollo de su trabajo de investigación.	<b>A2.1</b> Actúa con autonomía y responsabilidad con el medioambiente. <b>A2.2</b> Desarrolla nuevas ideas y enfoques sobre como orientar su trabajo, tomando en cuenta los contenidos de Ecología Industrial. <b>A2.3</b> Justifica la evolución de los modelos ecológicos industriales, tomado como base la reutilización, reciclaje, recuperación y las emisiones cero.	-Observación directa: Escala de valoración  -Observación indirecta: análisis del trabajo

En el desarrollo de la asignatura de Ecología Industrial, los resultados finales se obtienen para cada estudiante y logro establecido, por indicador, por instrumento y por ítem. En este trabajo la monografía investigativa o reporte de investigación formativa, se evalúa de acuerdo a una estructura dada y asociada a los indicadores de logro.

La Tabla 3 relaciona los indicadores de logro de aprendizaje de contenidos, capacidades y valores en el marco de la elaboración de la monografía investigativa, de manera que dicha elaboración condense la totalidad de la asignatura en un trabajo de investigación específico. De manera que cada estudiante presenta un reporte de investigación formativa, los cuales una vez consolidados en un único documento por cada semestre son colocados en biblioteca virtual USAT (<http://www.usat.edu.pe/campusvirtual/librerianet/investigaciones/investigaciones.aspx>), para la lectura pública.

Los logros alcanzados en dichas elaboraciones, se determinan a partir de la información presentada por

cada estudiante, instrumento e ítem, los cuales luego de ser registrados y analizados, se presentan consolidados en las Tabla 4 y Tabla 5 de forma resumida.

**Tabla 3. Indicadores de Logro asociados a Monografía Investigativa**

Indicadores de logro	Estructura del Reporte de Investigación
<b>A1.1</b> Identifica componentes temáticos mínimos, conceptos y definiciones, en la realización de su trabajo. <b>A1.2</b> Integra los subsecuentes objetos de aprendizaje, a partir de componentes conceptuales mínimos, incorporándolos en su actividad investigativa. <b>A1.3</b> Formula nuevos objetos de aprendizaje y los transfiere en contextos nuevos, basándose en los principios aprendidos	<i>Resumen: Contiene los objetivos y los resultados de la investigación.</i> <i>Palabras claves: 04 palabras que representan el trabajo realizado</i>  <i>I.- Introducción: es la presentación del tema a desarrollar y de los puntos de vista desde los que se realiza el análisis.</i>  <i>II.- Marco Teórico: Descripción general de la Industria Manufacturera y de los Productos</i>  <i>III.- Caracterización Físico química de materia prima e insumos (señalar si son tóxicos y/o contaminantes).</i>  <i>IV.- Caracterización Físico química de emisiones, efluentes, residuos industriales aprovechables y no aprovechables (señalar si son tóxicos y/o contaminantes).</i>  <i>V.- Argumentos de Ecología Industrial que orientan la evolución hacia el modelo ecológico Tipo II</i> <i>-Diseño de Modelo Ecológico Tipo II</i>  <i>VI.- Argumentos de Ecología Industrial que orientan la evolución hacia el Modelo Ecológico Tipo III</i>
<b>A2.1</b> Actúa con autonomía y responsabilidad con el medioambiente. <b>A2.2</b> Desarrolla nuevas ideas y enfoques sobre como orientar su trabajo, tomando en cuenta los contenidos de Ecología Industrial. <b>A2.3</b> Justifica la evolución de los modelos ecológicos industriales, tomado como base la reutilización, reciclaje, recuperación y las emisiones cero	<i>-Diseño Modelo Ecológico Tipo III (Tipo Eco parque, considerar cero emisiones, uso de energías renovables, reaprovechamiento, Re- uso, Reciclaje, Recuperación, Des materialización, etc.)</i>  <i>VII.- Análisis del Ciclo de Vida de los Productos (elaborar diagrama en detalle, argumentar)</i>  <i>Conclusiones (elaborar cuatro conclusiones como mínimo que respondan a los objetivos planteados)</i>  <i>Referencias Bibliográficas (se elaboran estrictamente de acuerdo a norma Chicago)</i>

**Tabla 4. Resumen de Resultados de logro en la Monografía Investigativa en porcentajes (25 estudiantes ciclo 2007-II)**

Logros/ Indicador de Logro	A1.1	A1.2	A1.3	A2.1	A2.2	A2.3
<b>LA1</b>	90	85	85	-	-	-
<b>LA2</b>	-	-	-	90	80	80

**Tabla 5. Resumen de Resultados de logro en la Monografía Investigativa en porcentajes (45 estudiantes ciclo 2008-I)**

Logros/ Indicador de Logro	A1. 1	A1. 2	A1. 3	A2. 1	A2. 2	A2. 3
LA1	90	90	86	-	-	-
LA2	-	-	-	93	86	85

## DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos mediante cada instrumento de evaluación y en particular en aquellos que evalúan los indicadores de logro para la monografía investigativa o trabajo de investigación formativa, se observa que los estudiantes están familiarizados con la sistematización y rigor que exige la investigación, así como con sus conceptos y metodología, y que han sido capaces de integrar progresivamente los contenidos propios de la asignatura en una aplicación industrial en particular.

Mediante los reportes de investigación elaborados y que hacen operativos los procesos de investigación formativa, se evidencia que ella posibilita la formación de profesionales de acuerdo a la visión de la USAT y que la sociedad necesita, al crear espacios que posibilitan integrar conocimientos con la aplicación específica de los mismos, de forma que el estudiante realiza acciones de práctica, que le permiten desarrollar competencias para la realización de investigación en sentido estricto. La generación de situaciones problemáticas de Ecología Industrial, en torno a una industria en particular, ha permitido al estudiante organizar y desarrollar conocimientos, aunque sean conocimientos ya existentes, aplicándolos en torno a sus expectativas y condiciones académicas profesionales específicas. De forma que coincidimos con [13], ya que la investigación formativa ha trascendido su función docente, convirtiéndose en una estrategia de mayor alcance: lograr una formación universitaria basada en el trabajo científico de los estudiantes.

Coincidimos con [14] cuando propone este tipo de investigación formativa como una herramienta motivacional relevante, pues mediante la intervención en aula durante los semestres 2007- II y 2008-I, se observa que la mayoría de los estudiantes logra realizar una búsqueda apropiada de aquellos elementos para la argumentación que les permite desarrollar propuestas innovadoras, a partir del interrogante inicial de trabajo. Así mismo en el reporte final elaborado que consolida tanto el marco teórico, la metodología de investigación y una aplicación industrial concreta, se observa que existe un buen nivel tanto interpretación y adquisición de conocimientos como en el desarrollo de la responsabilidad ambiental, observándose sin embargo dificultades en la redacción de las conclusiones.

Finalmente dada la diversidad de industria manufacturera, los reportes de investigación formativa elaborado son muy variados y apreciablemente buenos, por lo que es probable que florecerá mañana la investigación científica productiva tal como menciona [15].

Al intervenir en forma orientativa en aula, y empleando la asesoría y entrevista personal como estrategias se procura mejorar las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y el medio ambiente, integrando al estudiante en un proceso que requiere abordar la solución de un problema a través de la búsqueda de explicaciones – siempre hipotéticas– que servirán para comprender el mundo real desde el punto de vista de la ingeniería. De esta forma coincidimos con [16] cuando afirman que sólo haciendo que los estudiantes realicen la práctica - orientados por el profesor- de aspectos fundamentales de la metodología científica, se podrá superar su metodología de la superficialidad y, consecuentemente, construir conocimientos. Además se desarrolla un proceso de formación en investigación análogo a la formación inicial de futuros investigadores, en este aspecto es que se tienen coincidencias con el modelo de aprendizaje denominado investigación orientada.

## CONCLUSIONES

- Mediante la monografía investigativa se hacen operativos los procesos de investigación formativa, posibilitándose la apropiación de saberes superiores, llámese contenidos de Ecología Industrial, mediante la aplicación práctica del mismo.

- La intervención en aula durante el desarrollo de la asignatura de Ecología Industrial del III ciclo de formación profesional en Ingeniería Industrial, se sustenta en el trabajo científico de investigación, logrando que los estudiantes participen en ella según sus expectativas personales.

- El desarrollo del binomio formación profesional e investigación formativa, con estudiantes de Ingeniería y en la asignatura de Ecología Industrial, permite tanto al profesor como al estudiante insertarse a la cultura de la investigación, al acentuar el carácter científico del conocimiento, promoviendo tanto el aprendizaje autónomo, como la curiosidad y rigor intelectual.

- La investigación formativa como eje articular de la enseñanza aprendizaje de las asignaturas Ingeniería, en particular de Ecología Industrial, posibilita el aprendizaje significativo en los estudiantes de Ingeniería Industrial. Así se destaca la investigación formativa como una estrategia pedagógica para el desarrollo del currículo.

- Esta estrategia pedagógica, posibilita en el profesor universitario el desarrollo de conocimientos prácticos educativos, integrando dichas acciones a su experiencia profesional, e incorporándolos a su ejercicio docente, de manera que se imparte una formación universitaria de carácter profesional sustentada en el trabajo científico, procurando así el desarrollo armónico, tanto de su labor investigativa como de su tarea docente.

- El proceso secuenciado de investigación formativa en la asignatura de Ecología Industrial, posibilita la mejora de la actitud responsable con el uso de los recursos naturales y energéticos, así como en el aprovechamiento y/o tratamiento de los residuos industriales, evidenciando en el diseño del reporte final, el uso de criterios de sostenibilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Vega Marcote, M. Freitas, P. Álvarez Suárez y R. Fleuri, R.. Marco Teórico y Metodológico de Educación Ambiental e Intercultural para un Desarrollo Sostenible. Revista Eureka Enseñanza y Divulgación Cien., 2007, 4(3), pp. 539-554
- [2][6][15] B. Restrepo. Conceptos y aplicaciones de la investigación formativa, y criterios para evaluar la Investigación Científica en sentido estricto. Documento CNA Colombia: CORCAS Editores. 2003
- [3] G. Bravo Acevedo. La UMCE, la investigación universitaria y la sociedad del conocimiento. IntraMuros, 2003, 3 (12), 60-64.
- [4][7][8][13] C. Parra Moreno. Apuntes sobre la investigación formativa. Revista de Educación y Educadores, 2004, 4, 57-77
- [5][14] C. Furió , J. Guisasola J. La Enseñanza del Concepto de Campo Eléctrico Basada en un Modelo de Aprendizaje como Investigación Orientada. Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (2). p. 319-334
- [9] H. Tibbs. Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry. Annals of Earth, 1993 11 (1), pp 3-28
- [10]A. Vilches, D. Gil Pérez, J. C. Toscazo y O. Macías, Educación para la Sostenibilidad» [artículo en línea]. OEI. 1993 [Fecha de consulta: 31/10/08]. <http://www.oei.es/decada/accion004.htm>
- [11] M. Román Pérez. Sociedad del Conocimiento y Refundación de la escuela desde el aula. Ediciones Amigo. 2004
- [12] J. López Camps. I. Leal. Cómo aprender en la sociedad del conocimiento. Gestión 2000. 2002
- [16]Vargas Hernández, J., Caycedo Lozano, L. 2006 Investigación formativa: algunas alternativas de acción con estudiantes de Bacteriología y Laboratorio Clínico. Nova Vol.4 Nro. 6 Junio - Diciembre de 2006:1-114

Email: [ssalazar@usat.edu.pe](mailto:ssalazar@usat.edu.pe)

# CRITERIO DE OPTIMIZACION POR COMPENSACION EN EL DISEÑO DE BOTELLAS CON SUPERFICIES LATERALES DE REVOLUCION USADOS POR EMPRESAS EN LA COMERCIALIZACION DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

## OPTIMIZATION CRITERION BY COMPENSATION FOR DESIGNING BOTTLES WITH SURFACE OF REVOLUTION USED BY FACTORIES FOR COMMERCIALIZING FOODS AND DRINKS

Lizandro B. Reyna-Zegarra<sup>a</sup>, Teodoro Moore-Flores<sup>b</sup>

### RESUMEN

En el presente artículo, se expone el resultado de un trabajo de investigación realizado con el propósito de validar un criterio a seguir con la finalidad de optimizar el ahorro de material en el diseño de botellas comerciales con superficies laterales de revolución y bases planas fundamentalmente. A tal criterio de optimización se le denominó *Criterio de Optimización por Compensación* el cual usa como herramienta principal los métodos numéricos y un programa computacional. La característica fundamental de diseño óptimo es que el contenedor debe ser tal que su área superficial interna debe ser mínima para un cierto volumen dado. El criterio quedó validado al mostrarse que en casi la totalidad de botellas comerciales se usa más material que el establecido por el Criterio de Optimización por Compensación.

**Palabras clave:** Optimización, Diseño de botellas comerciales.

### ABSTRACT

In the present article is expounded the result of a research work performed in order to validate a criterion to follow to optimize material for designing commercial bottles with lateral revolution surfaces and flat bases mainly. Such optimization criterion was called Optimization Criterion by Compensation which uses as main tools, numerical methods and a computer program. The fundamental characteristic of optimum design is that the container must be in such a way the area of its total internal surface must be a minimum for a given volume. Such criterion was validated when it was shown that in most commercial bottles it is used much more material than the Optimization Criterion by Compensation tell us.

**Key words:** Optimization, Design of commercial bottles.

---

### INTRODUCCION

Durante las etapas de producción de un artículo, hasta finalmente ser enviado al público, los fabricantes y comerciantes deben enfrentarse cada día a un mercado y una sociedad más exigente, en donde el envase tiene que satisfacer no solo la necesidad de contener, proteger, preservar, comercializar y distribuir mercancías, sino también los alcances de su disposición posterior a su uso principal, la reutilización y reciclaje de los materiales, impactos ecológicos así como costos. Por esto, se crea la necesidad de diseñar envases adecuados, que hace obvia la necesidad de generar y transmitir los conocimientos de la ciencia y tecnología, en donde el concepto de optimización resulta ser de gran importancia.

Puesto que la mayoría de envases cuyas formas quedan determinadas por superficies de revolución son fabricados de material de vidrio o plástico, las empresas que decidan aplicar criterios de optimización en su fabricación, podrán alcanzar logros tales como:

1. Disminución de impacto ambiental: Al reducir el área superficial de los envases manteniendo el volumen constante, se estará reduciendo el material requerido,

con lo cual menor será la necesidad de la producción de plástico, principal responsable de la contaminación ambiental.

2. Reducción de desechos: Parte de la problemática ambiental radica en la acumulación excesiva de desechos entre los cuales se encuentra fundamentalmente los envases plásticos. Al optimizar, los envases salen al mercado con menos material y por lo tanto se reduce la cantidad de desechos antes de que llegue al consumidor.

3. Rebaja de costos por concepto de materia prima: Las empresas productoras de envases al requerir menos material por unidad de envase para su fabricación requerirán de menor capital para operar.

4. Ahorro energético: Al requerirse menor cantidad de materia prima para la fabricación de envases plásticos y de vidrio, menor cantidad de energía se requerirá para la obtención de tal materia prima. Menor cantidad de energía se requerirá también para su transporte a centros de envase y comercialización debido a la disminución de peso por envase.

<sup>a,b</sup> Departamento de Matemática de la Universidad Nacional de la Santa, Chimbote, Perú

5. Beneficiosa imagen ambiental: Un efecto de la conciencia ambiental colectiva el cual debe fomentarse, es que las personas desean contribuir a conservar el medio ambiente, pero que se sienten impotentes ante las necesidades de consumo y al no conocer una alternativa que no demande sacrificios mayores, deja esa preocupación por el ambiente a un segundo plano. Con la propuesta de optimización, se le da al consumidor la oportunidad de elegir productos en envases que traen incorporado este ahorro que ellos quieren lograr sin mayor esfuerzo que el de preferir estos envases optimizados, que a los que no presentan un diseño óptimo. Además, el hecho de que un producto no contamina más de la cuenta, es un factor importante en publicidad, debido a que resulta atractivo y sobresaliente gracias a la tendencia que deben tener los consumidores a elegir productos amigables con el medio ambiente.

6. Disminución de los precios de los productos de consumo: Al disminuir el costo de fabricación de cada envase por requerir menos material, el producto a comercializarse en el envase disminuirá en su precio, pues el precio del envase lo paga el consumidor y este precio será menor.

### CRITERIO DE OPTIMIZACION DE ENVASES DE FORMA CILINDRICA

La investigación sobre los niveles de optimización de envases comerciales de forma cilíndrica mostró que de una muestra de 30 envases tomadas al azar, el 88.9% de envases que usan las empresas peruanas no siguen criterios de optimización en su diseño, mientras que el 75% de envases de empresas extranjeras si lo hacen.

Diseñar un envase de forma cilíndrica recta y de capacidad volumétrica usando la menor cantidad de material posible, conlleva a determinar un mínimo para la función

$$A(r) = 2\pi r^2 + \frac{2V}{r} \quad (1)$$

Donde  $V$ ,  $A$ ,  $r$  son el volumen, área total y radio del cilindro respectivamente.

Se encuentra que al determinar los extremos de (1), el número crítico que viene a ser el radio correspondiente al punto de mínimo, está dado por la fórmula

$$r = \sqrt[3]{\frac{V}{2\pi}}$$

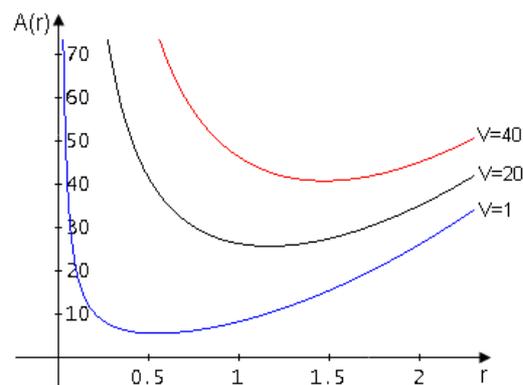
la cual permite determinar la altura igual a

$$h = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

Luego el área mínima en función del volumen estará dada por

$$A(V) = \left( \frac{6\pi}{\sqrt[3]{4\pi^2}} \right) \sqrt[3]{V^2}$$

Cuanto más grande es el volumen del envase, mayor oportunidad se tiene en disminuir el radio con el fin de aumentar la altura del envase a cuenta de que el área no se aleje mucho del mínimo. Ver figura 1.



**Figura 1** Gráfica del área total  $A$  de un cilindro en función del radio  $r$ ,  $A(r) = 2\pi r^2 + \frac{2V}{r}$ . Con fines comerciales

siempre se busca aumentar la altura del envase. Cuando el volumen es grande, podemos desplazarnos a la izquierda del mínimo variando el radio sin que se aleje demasiado del área mínima.

### CRITERIO DE OPTIMIZACION POR COMPENSACION

En el caso del diseño de envases con superficies laterales de revolución cuya silueta resulta ser caprichosa debido a que es impuesta por la estética y otras consideraciones, no es posible establecer una ecuación de tal manera que se pueda seguir los mismos pasos que para el caso del diseño de envases de forma cilíndrica recta. En este contexto, surge la siguiente interrogante [2]:

**¿Cuál es el criterio que debería seguirse con el fin de optimizar el diseño de botellas comerciales con superficies laterales de revolución de tal manera que se use la menor cantidad de material posible en su fabricación?**

Como respuesta al problema planteado, se formuló la siguiente hipótesis [2]:

**Un criterio que nos permitirá optimizar el diseño de botellas comerciales con superficies laterales de revolución de tal manera que se use la menor cantidad de material posible en su fabricación, es el Criterio de Optimización por Compensación.**

Se entiende por **Criterio de Optimización por Compensación** [2], aquel que consiste primero en diseñar óptimamente un cilindro cerrado recto y luego redistribuir el total del volumen y área que se retire de este con el fin de dar la forma deseada a una botella que se desea fabricar, dando como resultado una botella cuya superficie lateral corresponde al de una superficie

de revolución y cuyas bases son planas. El volumen del envase resultante se debe mantener igual al del cilindro recto. Matemáticamente, el criterio de optimización consiste primero en determinar el área mínima que debe tener un cilindro recto para un volumen fijo dado. Luego a partir de esto, usando un programa de computadora elaborado para el propósito, manteniendo el volumen constante deformar el cilindro preservando la isometría<sup>1</sup> en el proceso hasta llegar a la forma del envase deseado. Cilindro y botella final deben resultar ser isométricos. Puede ocurrir que la isometría se rompa talque el área superficial interna de la botella sea menor que la del cilindro de donde se partió [4].

En el esquema del Criterio de Optimización por Compensación para optimizar (minimizar) el área de envases manteniendo el volumen constante, se procede como sigue:

**2.1** Conocer la capacidad volumétrica del envase a optimizar.

**2.2** Optimizar el área de un cilindro cerrado recto cuya capacidad volumétrica sea igual a .

**2.3** Seleccionar alguna función conocida o tabular para obtener un conjunto de puntos que por interpolación numérica se pueda determinar la función que describa la curva deseada que pasa por dichos puntos con el fin de determinar las formas en las zonas deseadas del envase cilíndrico optimizado de 2.2.

**2.4** En papel milimetrado graficar un suficiente número de puntos previamente tabulados en 2.3 que describan la forma deseada en las zonas del envase cilíndrico de 2.2.

**2.5** Valiéndose de un programa de computadora interpolar los puntos considerados en el paso 2.4 y calcular el área de la superficie de revolución que genera la curva al girar alrededor de un eje fijo así como el correspondiente volumen del sólido de revolución, correspondientes a las zonas donde se va a dar la forma al envase.

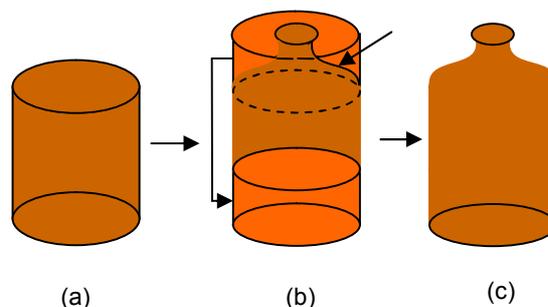
**2.6** En cada zona a dar forma al envase, se deberá remover un sólido con superficie externa de forma cilíndrica y superficie interna de forma determinada por la superficie de revolución que da la forma al envase. Calcular la diferencia de áreas entre la superficie cilíndrica y la superficie de revolución del sólido removido. Con esta diferencia se deberá formar un cilindro sin bases cuyo volumen sea aproximadamente igual al perdido al remover el sólido en la zona del cilindro optimizado con el fin de obtener la forma deseada en dicha zona.

**2.7** Acoplar el cilindro sin bases obtenido en el paso 2.6 en la zona cilíndrica del cilindro optimizado. Así se ha

<sup>1</sup>En este contexto, debemos entender por isometría a la preservación de las áreas correspondientes a la del cilindro punto de partida y de la botella punto de llegada durante el proceso de deformación.

obtenido un envase optimizado con superficie lateral de revolución y bases planas fundamentalmente. Ver figura 2.

La dificultad que se presenta en el paso 2.6, es como determinar la curva que dará la forma al envase, de tal manera que al remover el sólido a que se refiere, de la diferencia de áreas entre la de la superficie cilíndrica externa y la de la superficie de revolución interna se pueda construir un cilindro sin bases con volumen igual al volumen del sólido removido. Para ello se deberá valer del método del tanteo en la determinación de las curvas hasta alcanzar una aproximación adecuada.



**Figura 2** Secuencia esquemática en el diseño de una botella comercial siguiendo el Criterio de Optimización por Compensación. (a) Cilindro de volumen  $V$  y área mínima  $A$ , a partir del cual se diseñara la botella deseada. (b) La flecha superior de la derecha, señala la generatriz de una superficie de revolución, límite de dos sólidos, una interna similar a una botella y otra externa cuya superficie pertenece al cilindro. El sólido externo con límite interno la superficie de revolución, es removido y redistribuido bajo una forma cilíndrica en la parte inferior del cilindro (como muestra la flecha del lado izquierdo) sin alterar ni el área superficial ni el volumen. (c) Botella obtenida y que corresponde a un sólido de revolución cuya área superficial total es igual a la del cilindro de área mínima.

El objetivo es pues establecer como criterio valido, al Criterio de Optimización por Compensación, el cual permita diseñar botellas con superficies laterales de revolución usando la menor cantidad de material posible en su fabricación respecto a la cantidad de material que se viene usando para fabricar las botellas comerciales de hoy.

Con el fin de verificar la validez de la hipótesis se seleccionaron botellas de marca prestigiosa y se determino si lo que el Criterio de Optimización por Compensación predice en lo que respecta a la cantidad de material necesario para la construcción de una botella es igual o menor que la cantidad de material usado en la construcción de las botellas seleccionadas. Llevado a cabo el análisis de las botellas comerciales vigentes [3], se encontró que de una muestra de 18 botellas tomadas al azar, estas tienen un error en promedio de 19% respecto del óptimo establecido por el Criterio de Optimización por Compensación. En el caso de botellas individuales se registró botellas cuyos diseños eran tal que en su fabricación requerían hasta de un 52.2% mas de material que el establecido por el Criterio de Optimización por Compensación.

Es importante indicar que al hacer el análisis de los envases indicados, al rediseñarlos con el fin de

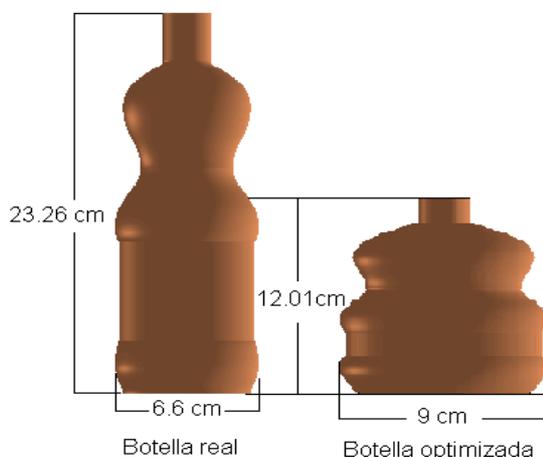
optimizar, todos los criterios que se siguieron en la fabricación del envase original se mantienen en el nuevo envase rediseñado a excepción de el hecho que la altura del envase disminuye y se ensancha lateralmente. Fundamentalmente se preserva el espesor de la pared del envase original.

Para realizar el estudio se preciso de herramientas matemáticas necesarias tales como Métodos Numéricos y uso de software Matlab 7.2 con el fin de elaborar un programa para llevar a cabo la deformación preservando la isometría y manteniendo el volumen constante. Igualmente se tuvo la necesidad de contar con un laboratorio básico para realizar el análisis de los envases tomados como muestra y así poder contrastar la hipótesis.

Es merito del autor el haber ideado, formulado, establecido el método y técnica así como la denominación de Criterio de Optimización por Compensación para diseñar botellas con superficies laterales de revolución minimizando el uso de material en su fabricación.

### APLICACIÓN DEL CRITERIO DE OPTIMIZACION POR COMPENSACION

Como aplicación de lo expuesto, en la figura 3 se muestran a escala tanto el envase original como el envase **optimizada en extremo**, para el caso de una botella de gaseosa Fanta de capacidad 500 ml, producto de la Coca Cola.



**Figura 3** Al optimizar al extremo, la nueva botella obtenida resulta tener una altura igual a casi la mitad de la original con un correspondiente ensanchamiento como se aprecia en los datos numéricos de la figura.

Como resultado de la contrastación de la hipótesis realizada, el Criterio de Optimización por Compensación quedo validado [2,3]. En el caso del envase de gaseosa Fanta que se muestra en la figura 3, al aplicarse el Criterio de Optimización por Compensación en el rediseño del envase conservando su volumen, espesor de la pared del envase y manteniendo una forma muy parecida todo respecto del envase original, quedo establecido que se puede ahorrar 74.442 cm<sup>2</sup> de material que traducido en gramos equivale a un ahorro

de 4.18gr por envase, representando un error del 20.7% respecto del optimo. Lo que fundamentalmente varia en el rediseño es la altura de la botella, disminuyendo de 23.26cm a 12.01cm, además de un correspondiente ensanchamiento lateral de la botella de 6.6 cm a 9cm.

Se debe indicar que no es posible evitar la reducción de la altura del envase salvo a costa de aumentar el uso de material, sin embargo, no necesariamente se tendrá que diseñar un envase en extremo optimo, permitiendo el método controlar el nivel de optimización de acuerdo a la conveniencia deseada.

El caso de los envases farmacéuticos merece especial atención, pues casi la totalidad de estos está lejos estar optimizados. Se sostiene que los envases en los que se comercializan bebidas gaseosas, néctares, jugos, yogures, etc. deben ser lo mas grandes posibles en altura a fin de lograr que lo que contienen se venda mas debido al impacto que tendrán ante le consumidor, sin embargo, ¿debería aplicarse este mismo criterio a los envases farmacéuticos?, ¿Qué importa mas en un envase farmacéutico? Lo que contiene, o el tamaño y estética del envase. Un buen envase farmacéutico debería promocionar la economía en su fabricación con el fin de reducir la contaminación que pueda causar.

No es difícil ver que si por cada envase se ahorra un gramo de resina plástica, para una producción de un millón de envases, en total se habrá ahorrado una tonelada de plástico. En el caso de la botella de gaseosa Fanta se puede ahorrar alrededor de 4 gramos por envase, por lo tanto se ahorraría 4 toneladas de esta resina.

No es necesario hacer una investigación exhaustiva para darse cuenta que las formas y tamaños de las botellas están de alguna manera estandarizados a nivel mundial. Luego, estas no se ajustan al Criterio de Optimización por Compensación. La pregunta es ¿Cuántos millones de envases se producen en el mundo y cuantos miles o millones de toneladas de resina se podría evitar que vengan al mundo si se decidiera optimizar aun mas el uso de resinas plásticas en la fabricación de botellas? Se afirma que el reciclaje es la solución a la contaminación por residuos plásticos, ¿Cuántas veces se puede reciclar dichos residuos, antes que se produzca "desgaste"? Aun así, cualquier proceso de reutilización o transformación involucrara gasto de energía, uso de sustancias químicas contaminantes, etc.

Una buena alternativa a la solución de la contaminación ambiental podría muy bien empezar por la concertación entre las empresas que usan botellas para comercializar sus productos, al tomar la decisión de optimizar aun más el diseño de sus envases, y por que no, una optimización al extremo. La búsqueda de desterrar la preferencia del consumidor por productos envasados en botellas de mayor altura frente a los mismos envasados en botellas de menor altura pero que contienen el mismo producto de la misma calidad y cantidad debe ser tarea de los departamentos de marketing del las empresas y en general de todos: colegios, universidades, demás instituciones y sociedad en general.

Se concluye que el Criterio de Optimización por Compensación es un criterio válido, pues permite minimizar aun más material del lo que se viene usando en la fabricación de envases comerciales. Al preservar además el espesor de la pared del envase original en el caso de rediseño, el nuevo envase ha de resultar más sólido y macizo, con mejor equilibrio y ocupara menor volumen debido a la reducción de material requerido para su fabricación.

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a los estudiantes López Rivera, S., Lavandera Alva, A., Cerna Correa, J. y demás compañeros, todos estudiantes de Ing. Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa por su valiosa colaboración durante el desarrollo del método de optimización a que se refiere el presente artículo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Reyna L. Llanos R. et al. Niveles de aplicación de los criterios de optimización en la fabricación de envases de forma cilíndrica que utilizan las empresas productoras de alimentos y bebidas. Proyecto de investigación 2005 – UNS
- [2]. Reyna L. Moore T. et al. Criterio de Optimización por Compensación en la fabricación de envases con superficies laterales de revolución y bases planas. Proyecto de investigación 2006 – UNS
- [3]. Reyna L. Cedron E. et al. Niveles de aplicación de los criterios de optimización en el diseño geométrico de envases comerciales con superficies laterales de revolución en base al Criterio de Optimización por Compensación. Proyecto de investigación 2007 – UNS
- [4]. Pak I. Inflating the cube without stretching. Department of Mathematics, M.I.T. Cambridge, 2006.
- [5]. Sherman K. Stein Cálculo y Geometría Analítica, 1984. McGraw – Hill, México. Tercera Edición; 212-214.

# EFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS, SENSORIALES Y MICROBIOLÓGICAS EN PÁPRIKA EN POLVO (*Capsicum annum L.*)

## EFFECT OF GAMMA RADIATION ON THE PHYSICO-CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND SENSORY ANALYSIS OF PAPRIKA POWDER (*Capsicum annum L.*)

Johnny Vargas R.<sup>a</sup>

### RESUMEN

El Perú es el primer exportador mundial de páprika, especia susceptible a la contaminación microbiana. El objetivo fue evaluar las características físico-químicas y sensoriales en páprika en polvo irradiadas a diferentes dosis de radiación gamma, con la finalidad de determinar la dosis mínima que reduzca la población microbiana a las especificaciones. Muestras de 500 g fueron irradiadas en el equipo Gammacell 220 (0; 2; 4 y 7 kGy). La tasa de dosis inicial fue de 5.19 kGy/h. Se realizaron los siguientes análisis: Físico-químico (Humedad, cenizas totales, cenizas insolubles en HCl, extracto et reo total, almidón, fibra cruda, índice de yodo y color asta). Evaluación sensorial ( Test descriptivo) . Análisis microbiológico (Aerobios mesófilos, *Salmonella/Shigella*, Coliformes totales, *Escherichia coli*, *Clostridium* sulfito reductor, hongos y levaduras). Los métodos fueron los recomendados por la FDA edición 6ta, la AOAC (1984) y las NTP. A las diferentes dosis ensayadas, no se encontraron diferencias en los análisis físico-químicos y sensoriales. La dosis mínima seleccionada fue de 7 kGy que reduce la población de microorganismos aerobios mesófilos en 5 ciclos logarítmicos de  $3,7 \times 10^6$  a  $2,5 \times 10$  UFC/g. Dosis de 4 kGy fue suficiente para reducir la población de hongos en 3 ciclos logarítmicos de  $5,0 \times 10^3$  a  $<10$  UFC/g, cumpliendo con las especificaciones requeridas.

**Palabras clave:** Radiaci n gamma, páprika, dosis mínima, población microbiana

### ABSTRACT

Peru is the world's leading exporter of paprika, spice susceptible to microbial contamination. The objective was to evaluate the physico-chemical and sensory paprika powder irradiated at different doses of gamma radiation, with the purpose of determining the lowest dose that reduces the microbial population to the specifications. 500 g samples were irradiated in the team Gammacell 220 (0, 2, 4 and 7 kGy). The initial dose rate was 5.19 kGy / h. The samples were analyzed: Physical and chemical (moisture, total ash, HCl-insoluble ash, ether extract, total starch, crude fiber, iodine value and ASTA color). Sensory evaluation (Test descriptive). Microbiological analysis (aerobic mesophiles, *Salmonella / Shigella*, total coliforms, *Escherichia coli*, Clostridium sulfite reducer, fungi and yeasts). The methods were those recommended by the 6th edition FDA, AOAC (1984) and NTP. At different doses tested, there were no differences in the physical-chemical analysis and sensory. The minimum dose of 7 kGy was selected to reduce the population of mesophilic aerobic microorganisms in 5 log cycles of  $3.7 \times 10^6$  CFU/g to  $2.5 \times 10$  CFU / g. 4 kGy dose was sufficient to reduce the population of fungi in 3 log cycles of  $5,0 \times 10^3$  to  $<10$  CFU /g. according to the required specifications.

**Key words:** Gamma radiation, paprika, minimum dose, microbial population.

### INTRODUCCIÓN

Las especias generalmente se encuentran contaminadas por diversos microorganismos, la páprika es susceptible a la contaminación de bacterias y hongos, desde la cosecha, procesamiento y almacenamiento.

Las especias contienen frecuentemente gran número de microorganismos causantes de descomposición o de enfermedades cuando se incorporan a los alimentos, la población microbiana puede sobrepasar el nivel de  $10^8$  UFC/g (cien millones de unidades de microorganismos formadores de colonias). La carga de hongos puede llegar a veces a  $10^5$  -  $10^6$  UFC/g. [1] Algunos de sus usos como es el caso de la páprika están dirigidos a la elaboración de embutidos, formulaciones a base de vegetales, pescado, productos de panadería, sopas y salsas preparadas. [2] Se debe tener en cuenta, que la páprika en polvo también es usada, tal como ofrecida, sin ningún

tratamiento térmico posterior, como es el caso en el consumo de pizzas y productos de snack bar, lo cual es riesgoso para el consumidor.[3].

El páprika se empezó a utilizar como especia por su capacidad de modificar el color de los alimentos, mejorar el aspecto y conferir características organolépticas particulares.

Actualmente se la usa no solo como sazonzador, si no también como colorante en gran variedad de productos, entre los cuales se pueden incluir la industria láctea (quesos, mantequillas, etc.), industria de los piensos (avicultura, piscicultura, ganadería, etc.), industria conservera (vegetales, hidrobiológicos y cárnicos), industria de panificación (pasteles, galletas, etc.), gelatinas, pudines, embutidos y otros productos cárnicos, salsas, sopas, mayonesa, condimentos, bebidas refrescantes, congelados, polvos, jarabes, concentrados, industria cosmética (lápices labiales, polvos faciales, etc.).

<sup>a</sup> Dirección de Aplicaciones Instituto Peruano de Energía Nuclear

Frente a políticas de preservación del medio ambiente y las tendencias al uso de colorantes naturales a nivel mundial en reemplazo de los colorantes artificiales el consumo de páprika continúa en aumento ligado también a los desarrollos en la tecnología de los colorantes naturales como son los extractos y concentrados hidrosolubles y liposolubles. El contenido de carotenoides del páprika pueden sustituir los colorantes Amarillo #5 y #6, a la Tartrazina y al Subset Yellow.[4]

Por otro lado, La creciente demanda internacional por saborizantes y colorantes naturales permitió a la páprika consolidarse como uno de los principales productos de la agroexportación peruana, ubicando al país como el principal exportador mundial de la hortaliza: en 2007 el Perú exportó un total de US\$ 93.8 millones siendo el principal abastecedor del mercado de EE.UU. (con cerca del 70% del total de sus importaciones) y de la Unión Europea (con cerca del 30% del total de sus importaciones). [5]

Los objetivos de la irradiación en páprika en polvo irradiado fueron:

Reducir la población microbiana y hongos al nivel de las especificaciones sin alterar significativamente sus características físico-químicas y sensoriales.

No se utiliza la irradiación para la preservación de estos productos. La preservación se obtiene mediante el empaque, almacenamiento adecuado y secado apropiado.

### Características del Producto a Irradiar

El proceso de irradiación se aplica a estos productos en las formas en las cuales normalmente se preparan para su uso y comercialización. Las consideraciones usuales tomadas en cuenta son la calidad y el uso de las buenas prácticas de producción. La irradiación puede ser utilizada para corregir deficiencias de calidad. Deberá evitarse la excesiva contaminación con microorganismos antes de la irradiación. [6]

### Dosis

La unidad de dosis absorbida es el gray (Gy), que viene a ser la energía absorbida de un Joule por Kg. de materia irradiada:

$$\text{Gy} = \text{Joule/Kg.}$$

### MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras corresponden a una Industria Nacional. Los productos fueron irradiados en el Equipo de Irradiación Gammacell 220 previa dosimetría Fricke y de acuerdo a la densidad y geometría del producto nos permitió hallar la tasa de dosis, para calcular los tiempos de exposición a la radiación gamma, para evaluar las dosis seleccionadas. Para la dosimetría se utilizó el método ASTM E 1026 – 1995 Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System

Los métodos empleados en los análisis Físico-Químico y las especificaciones para páprika en polvo fueron consultados de la AOAC y de las Normas Técnicas Nacionales e Internacionales.

Para almidón se utilizó el método de Lane-Eynon. Los métodos empleados en los análisis microbiológicos fueron realizados de acuerdo a lo que señala la FDA (6ta Edición).

La evaluación sensorial se realizó mediante la prueba de comparación que permite encontrar diferencias entre dos o más muestras cuando estas son presentadas a los panelistas, quienes dan sus respuestas o calificaciones a través de términos descriptivos. Con el objeto de obtener una medición cuantitativa se puntuaron los resultados sobre una escala hedónica de 1 a 5 puntos, donde:

Excelente	- 5 puntos
Bueno	- 4 puntos
Satisfactorio	- 3 puntos
Regular	- 2 puntos
Malo	- 1 punto

Intervinieron en el desarrollo de esta prueba 5 panelistas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Análisis microbiológico en páprika

DETERMINACIONES	Control	2 kGy	4 kGy	7 kGy
R. Aerobios mesófilos UFC/g	3,7x10 <sup>6</sup>	2,6x10 <sup>5</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	2,5x10
Recuento de Hongos UFC/g	5,0x10 <sup>3</sup>	5,0x10 <sup>2</sup>	<10	<10
Recuento Levaduras UFC/g	<10	<10	<10	<10
R. Hifas (Met. Howard)(%)	5	2	<10	<10
D. <i>Salmonella/Shigella</i> (25g)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes totales (NMP/g)	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Detección <i>E. coli</i> (en 25g)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
R Clostridium sulfito r UFC/g	10	<10	<10	<10

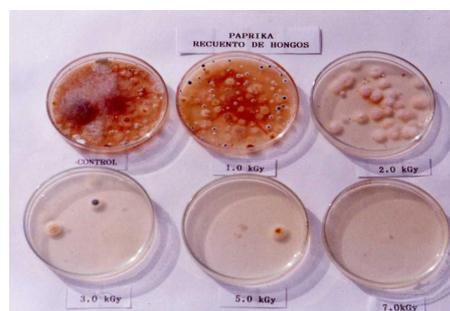


Figura 1: Recuento de hongos en páprika

Podemos apreciar en la tabla 1 que la páprika en polvo presenta una elevada contaminación de aerobios mesófilos de 3,7x10<sup>6</sup> UFC/g y al aplicarse la dosis de 7 kGy se logra reducir 5 ciclos logarítmicos a 2,5x10 UFC/g.

En lo que respecta a los hongos, podemos notar que es suficiente una dosis de 4 kGy para reducir completamente la presencia de hongos en 3 ciclos logarítmicos, de 5,0x10<sup>3</sup> UFC/g a <10 UFC/g. También se encontró hifas en un 5% eliminándose a la dosis de 4 kGy.

Con la dosis de 2 kGy controlamos el recuento del Clostridium sulfito reductor de 10 UFC/g a <10 UFC/g. Según la Norma ITINTEC [7], las especificaciones microbiológicas son en aerobios mesófilos máximo 1x10<sup>5</sup> UFC/g, en recuento de hongos, levaduras y Clostridium sulfito reductor máximo 10 UFC/g, e hifas máximo 40 %

En la muestra de páprika analizada no se encontró levaduras, *Salmonella/Shiguelia*, Coliformes totales, *Clostridium* sulfito reductor ni *Escherichia coli*.

**Tabla 2.** Análisis físico-químico en páprika

DETERMINACIONES	Control	2 kGy	4kGy	7kGy
Humedad (%)				
Cenizas totales (%)	15,54	15,69	15,99	15,99
Cenizas insolubles	5,87	5,76	5,82	5,99
HCl%	0,35	0,37	0,36	0,36
Extracto et�reo total (%)	13,94	13,70	14,30	13,76
	N Dt	N Dt	N Dt	N Dt
Almidón (%) (*)	20,06	20,21	20,2	20,12
Fibra cruda (%)	97	92	91	94
�ndice de Iodo	141	145	142	137
Color Asta				

(\*) N Dt = No Detectable

**Tabla 3.** Especificaciones de análisis químico en páprika

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	REFERENCIA
Humedad	Máximo 11.0 %	N. ITINTEC 209.190, 1982
Cenizas totales	Máximo 8.0 %	N. ITINTEC 209.190, 1982
Ceniza insolubleHCl	Máximo 1.25 %	N. ITINTEC 209.190, 1982
Extracto et�reo total	Máximo 15.0 %	Código Alimentario Argent.
Almidón	Mínimo 0.5 %	N. ITINTEC 209.190, 1982
Fibra cruda	Máximo 28.0 %	N. ITINTEC 209.190, 1982
�ndice de Iodo	Máximo 136	N. Mexicana - F -001,1982
Color Asta	Mínimo 120	Código Alimentario Argentino 2008

En lo que respecta a los análisis físico-químicos no hay diferencias a las diferentes dosis ensayadas y están dentro de las especificaciones de la tabla 3, excepto en el porcentaje de humedad que exige un máximo de 11 % y los resultados de la investigación arrojan resultados entre 15,54% para el control y 15,99 % para la dosis de 7 kGy, sin influir en estos datos las dosis administradas. En el análisis de almidón, la norma demanda un mínimo de 0.5%, en las muestras ensayadas, para todos los tratamientos, no se detecto almidón, tanto en la muestra control, como en las muestras irradiadas, por lo que el efecto de la radiación no tiene influencia, en esta comparación.

En los demás análisis realizados como en cenizas totales, no hay diferencias importantes, tenemos valores entre 5,76% a 5,99%, siendo 8% el máximo requerido, al igual en cenizas insolubles en HCl entre 0,35% del Control y 0,36 % de la muestra irradiada a 7 kGy, siendo hasta 1.25% el aceptado. En el extracto etereo total o grasa no hubo alteración a las diferentes dosis ensayadas entre 13,70% y 14,30 %, contra el máximo del 15% , también en fibra cruda se mantuvo constante entre 20,06 y 20,21, debajo del máximo de 28%.

En el índice de yodo que nos sirve para medir el grado de saturación de la grasa o aceite los valores arrojados son similares oscilando entre 91 a la dosis de 4 kGy y 97 de la muestra control.

En los análisis de color ASTA (American Spice Trade Association), de suma importancia para la exportación, no se encontraron diferencias significativas a las dosis ensayadas, con valores de 137 a 141, comparados con la clasificación extra que permite un mínimo de 120 ASTA.[8]

**Tabla 4.** Análisis sensorial en páprika

Atributo	Control	2 kGy	4kGy	7kGy
Color	Rojo oscuro,	Rojo oscuro	Rojo oscuro	Rojo oscuro
Olor	Aromático Característico	Aromático Característico	Aromático Característico	Aromático Característico
Sabor	Picante Característico	Picante Característico	Picante Característico	Picante Característico
Califica	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Puntaje	4	4	4	4

En lo que respecta al análisis sensorial no se encontró diferencia entre el control y las diferentes dosis ensayadas, al evaluarse cuantitativamente, los jueces panelistas calificaron con un promedio de puntaje de 4 sobre una escala hedónica de 1 a 5, correspondiendo a este puntaje una calificación de BUENO para todos los tratamientos.

## CONCLUSIONES

La muestra presentó una calidad microbiológica deficiente con predominio de microorganismos aerobios mesófilos de  $3,7 \times 10^6$  UFC/g y recuento de hongos de  $5 \times 10^3$  UFC/g.

No se encontraron levaduras, coliformes totales, *Salmonella/Shiguelia*, *Clostridium* sulfito reductor ni *Escherichia coli*.

Dosis de 7 kGy en páprika en polvo reduce la población de microorganismos de aerobios mesófilos en 5 ciclos logarítmicos, de  $3,7 \times 10^6$  UFC/g a  $2,5 \times 10^1$  UFC/g cumpliendo con las especificaciones requeridas.

Dosis de 4 kGy son suficiente para reducir la población de hongos en 3 ciclos logarítmicos de  $5,0 \times 10^3$  UFC/g a  $<10$  UFC/g.

A dosis de 7 kGy las características físico-químicas y la evaluación sensorial no son afectadas significativamente.

De acuerdo a los resultados, la dosis mínima óptima seleccionada que redujo la población microbiana a las especificaciones requeridas, sin alterar las características intr secas de la páprika en polvo fue de 7 kGy.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Farkas, J. Tratamiento de las Especies por Irradiación. La Irradiación de Alimentos en Latinoamérica IAEA TECDOC 331. Viena. (1985) 123-143.
- [2]. Wittig de Penna et al. Evaluación sensorial de pimentón en polvo (*Capsicum Annum*) irradiado. Nucleotécnica, Santiago de Chile. Año 10 N° 18 (Abril 1990) 47-54
- [3]. Vivanco, M y Vargas, J. Evaluación de páprika en polvo irradiado. Informe Científico Tecnológico ISSN 1684-1662. Lima, Perú. (2005) 129-131
- [4]. Derinat. Páprika. [serie en internet (2007)]. Disponible en URL : <http://www.derinat.com/paprika.htm>
- [5]. Centrum Católica. Páprika Peruana en el mercado internacional. Reporte Anual (2008). [serie en internet]. Disponible en URL:  
[http://1.1.1.1/856728632/855818288T081124120043.txt.binXMysM0dapplication/pdfXsysM0dhttp://www.centrum2.pucp.edu.pe/cemaldia/informes\\_pdf/Ficha\\_paprika\\_2008\\_pdf](http://1.1.1.1/856728632/855818288T081124120043.txt.binXMysM0dapplication/pdfXsysM0dhttp://www.centrum2.pucp.edu.pe/cemaldia/informes_pdf/Ficha_paprika_2008_pdf).
- [6]. Documento GCIIA N° 5. (1991). Código de las buenas prácticas de irradiación para el control de patógeno y otra microflora en especias, hierbas y otros sazónadores Vegetales. FAO/OIEA/OMS, Viena.
- [7]. Norma ITINTEC 209,239 Ají panca (1984)
- [8]. [Código Alimentario Argentino. Resolución Conjunta 92/2008 y 355/2008. (2008)]. Disponible en URL:  
<http://www.senasa.gov.ar/contenido.php?to=n&in=1197&ino=1197&io=7854>

**E-mail:** [jvargas@ipen.gob.pe](mailto:jvargas@ipen.gob.pe)

# FACTORES ASOCIADOS A LA PARTICIPACIÓN LABORAL DE TRABAJADORES SECUNDARIOS DE LOS HOGARES DEL DISTRITO DE GUADALUPE

## FACTORS ASSOCIATED TO THE LABOR PARTICIPATION OF SECONDARY WORKERS OF THE HOMES OF THE DISTRICT OF GUADALUPE

Carlos Sánchez <sup>a</sup>, Carlos Minchón <sup>b</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo fue realizado con el propósito de determinar los factores asociados a la participación laboral de trabajadores secundarios de los hogares del distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad en Perú. Se evaluó factores del jefe del hogar (ingreso económico, educación, sexo y edad), del trabajador secundario (edad, años de estudio, parentesco con el jefe y sexo) y de la familia (ingreso familiar, tamaño de la familia, presencia de miembros en la familia menores a 5 años y de 5 a 13 años). Como indicadores de la participación laboral se consideró a la decisión de participar en el mercado laboral del trabajador secundario como al número de horas semanales laboradas.

La muestra obtenida mediante muestreo unietápico, estuvo conformada por 552 viviendas (UPM's) y 1094 trabajadores secundarios (USM's), recolectándose la información mediante encuesta, entre enero y febrero del 2008. Se empleó el modelo de regresión probit y el modelo de regresión tobit, estimándose los modelos con Stata 9.2. Los factores asociados positivamente fueron la edad del trabajador secundario, los ingresos familiares. Los factores asociados negativamente fueron el ingreso del jefe del hogar y el tamaño de la familia. Los factores cualitativos fueron jefe del hogar mujer, presencia de menores de 5 años en la familia y trabajador secundario varón.

**Palabras claves:** Trabajador secundario, participación laboral, factores asociados, probit, tobit.

### ABSTRACT

The present work was carried out in order to determine the factors associated with the labour participation of secondary workers of the homes in Guadalupe, Pacasmayo, Peru. Several factors were evaluated head of home (salary, education, sex and age), of the secondary worker (age, years of study, kinship with the head and sex), and of the family (salary family, family size, family members under 5 years and from 5 to 13 years old 5 years and of 5 to 13 years). Indicators of the labour participation it was considered the decision to participate to the labour market as to the number of weekly labour hours. The sample, obtained the through the unietapico sample, was conformed by 552 houses and 1094 secondary workers, collecting the information by surveys, between January and February 2008. The Probit and Tobit models regression were used but it was esteemed the models with Stata 9.2. The positive associated factors were the age of the secondary worker, the familiar income. The negative associated factors were the head of the homes salary the family size. The qualitative factors were head of the home woman, formed members under 5 years old and male secondary workes.

**Key words:** Secondary worker, labour participation, associated factors, probit, tobit.

### INTRODUCCIÓN

El comportamiento de la oferta de trabajo de las cónyuges ante el desempleo de los jefes de hogar varones es un tema que ha recibido mucha atención en economía laboral, incorporándose en un estudio realizado en Argentina a otros miembros del hogar (hijos y otros miembros) aparte de las cónyuges en condición de reserva laboral -denominados *trabajadores secundarios* (cónyuges, hijos dependientes y personas mayores de 65 años no jefes del hogar)- quienes se incorporan al mercado laboral ante la necesidad de aportar para cubrir el presupuesto familiar<sup>1</sup>. Otro aspecto incluido en este trabajo fue la situación ocupacional del principal aportante del hogar, donde no solamente el desempleo sino también su reinserción en puestos de baja remuneración relativa o de escasa intensidad pueden incidir en la decisión de los trabajadores secundarios de participar en el mercado laboral (modelo logit), y de la intensidad con la que lo hacen (modelo tobit). El estudio fue realizado para los años 1992, 1995 y 1999, por separado, analizando la

situación ocupacional del jefe de familia como variable independiente en dos maneras. La primera comparando los jefes con ocupación plena frente a los que no tienen ocupación plena, y la segunda comparando las modalidades de ocupación no plena (desocupado, subocupado o informal) frente a la ocupación plena del jefe. El estudio también incluyó como variables independientes a características individuales del trabajador secundario y a características de la familia. En el Perú se ha venido incrementando la tasa de participación laboral, específicamente de las mujeres. La realidad peruana lleva a proponer que la decisión de participar en el mercado de trabajo, además de la variables individuales, de las características de la familia, tal como fue analizado en un estudio basado en la ENAHO 1998-III, correspondiente a Perú urbano<sup>2</sup>. Se examinó tanto la decisión de participar en el mercado laboral como de la tasa de participación, empleando según se indica un modelo tipo logit en el primer caso y el modelo de regresión lineal en el segundo. Por la ecuación mostrada en el modelo tipo logit, la prueba t indicada en los resultados y el programa SPSS

<sup>a,b</sup> Departamento de Estadística, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

empleado, consideramos que en realidad aplicaron el modelo lineal de probabilidad. La tasa de participación está dada por la proporción de los miembros de la familia en edad de trabajar que son miembros de la población económicamente activa (PEA). Otra particularidad del estudio es que elaboraron modelos separados para hogares promedio y por género; para hogares nucleares, extendidos o compuestos; y para una combinación de ambas variables.

Prácticamente este estudio fue actualizado en Perú, comparando hogares cuyo jefe del hogar es un trabajador independiente frente a los de trabajadores independientes, basado en la ENAHO 2001-III<sup>3</sup>. En el caso de la decisión del trabajador secundario de participar o no en el mercado laboral el modelo empleado fue el logit, sin embargo aún cuando se pretendió incluir como variable independiente a la ocupación del trabajador principal (independiente-dependiente), su rol en el modelo no es claro.

Los mejores argumentos teóricos para abordar este tema fueron exhibidos en el reiterado uso de la ENAHO 2001-III, cuando se utilizó el modelo probit para estudiar la decisión del trabajador secundario de incorporarse a la fuerza laboral, así como el modelo tobit para estudiar la intensidad con que decide incorporarse a este mercado (medida en el número de horas semanales)<sup>4</sup>. La propuesta de incluir estos modelos y más variables independientes debe ser considerada. Por otro lado, la ENAHO por ser una encuesta demasiado amplia podría presentar limitaciones en cuanto a calidad de información se refiere. Esto presupone que los modelos en referencia deben ser estimados empleando información de fuentes primarias.

El presente estudio tiene el propósito de determinar los factores asociados a la participación laboral de trabajadores secundarios - decisión de incorporarse al mercado laboral y de la intensidad que lo hace- del distrito de Guadalupe.

## METODOLOGÍA

El estudio fue realizado en los trabajadores secundarios del distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, departamento de La Libertad, en Perú, entre enero y febrero del 2008.

Se evaluó factores del jefe del hogar (ingreso económico, educación, sexo y edad), del trabajador secundario (edad, años de estudio, parentesco con el jefe y sexo) y de la familia (ingreso familiar, tamaño de la familia, presencia de miembros en la familia menores a 5 años y de 5 a 13 años). Como indicadores de la participación laboral se consideró a la decisión de participar en el mercado laboral del trabajador secundario como al número de horas semanales laboradas.

El marco muestral estuvo conformado por las 6867 viviendas registradas en el plano catastral del distrito de Guadalupe, actualizado a agosto del 2006, proporcionado por el Municipio de Guadalupe.

La muestra fue obtenida mediante muestreo unietápico. Las unidades primarias de muestreo (UPM) fueron las viviendas y las unidades secundarias de muestreo (USM) los trabajadores secundarios. La muestra estuvo conformada por 552 viviendas y 1094 trabajadores secundarios. El número de viviendas que conformaron las UPM's de la muestra fueron determinadas asumiendo máxima variabilidad, confianza del 95% y precisión del 4%. En cambio, se consideró todos los trabajadores secundarios de las UPM's seleccionadas.

El diseño de investigación corresponde a un diseño no experimental, transversal y causal, cuyo esquema es:



La decisión del trabajador secundario participar en el mercado laboral fue modelado mediante el modelo de regresión probit. El número de horas semanales laboradas por el trabajador secundario fue modelado a través del modelo probit. Las variables independientes fueron codificadas como sigue:

### CODIFICACIÓN DE FACTORES

Factores	Denominación	Categoría	Código
Sexo del Jefe de hogar (Referencia : Femenino)	SJ	Masculino	1
		Femenino	0
Parentesco (Referencia : Otro Pariente)	H	Trab. Secund. Hijo	1
		Otro	0
	C	Trab. Secund. Cónyuge	1
Integrantes menores a 5 años. (Referencia : Otro integrante)	M <sub>1</sub>	Hogares con miembros menores 5 años	1
		Otro	0
Integrantes entre 5 y 13 años. (Referencia : Otro integrante)	M <sub>2</sub>	Hogares con miembros entre 5 y 13 años	1
		Otro	0
Sexo del trabajador secundario (Referencia : Femenino)	ST	Masculino	1
		Femenino	0
Ingreso del Jefe de Hogar	IJ		
Educación del jefe	EJ		
Edad del jefe	DJ		
Edad Trabajador Secundario	ES		
Años de estudio	AE		
Ingresos Familiares	IF		
Tamaño familiar	TF		

Los modelos probit y tobit fueron estimados empleando Stata, versión 9.2. En el caso del modelo probit se evalúa además el efecto marginal de cada variable independiente, el cual permite comparar el efecto de una variable con otra, así como determinar la magnitud del efecto que produce en la decisión de laborar del trabajador secundario el correspondiente cambio en cada una de las variables independientes [5].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el distrito de Guadalupe, la muestra estuvo comprendida por 1094 trabajadores secundarios que conformaron la fuerza laboral de reserva, de los cuales 739 (67.6%) no tomaron la decisión de trabajar, es decir

ni se encontraban laborando ni estuvieron buscando trabajo durante el periodo de estudio. A nivel de Perú urbano, al III trimestre del 2001, Abanto<sup>4</sup> determinó que el 43.9% de los trabajadores no tomó la decisión de laborar.

- LA DECISIÓN DE PARTICIPAR EN MERCADO LABORAL

El análisis de los factores asociados a la participación laboral de los trabajadores incluyó los factores del jefe del hogar, del trabajador secundario y de la familia, como se indica en la metodología. Sin embargo, no todos fueron significativos.

El modelo de regresión probit para la decisión de laborar del trabajador secundario es mostrado en la tabla 1, el cual presenta los coeficientes de regresión estimado después de eliminar los factores no significativos corriendo nuevamente el programa Stata.

TABLA N° 1  
ANÁLISIS PROBIT DE LA PARTICIPACIÓN LABORAL  
RETIRANDO LOS FACTORES NO SIGNIFICATIVOS

Probit regression	Number of obs =	1094
	LR chi2(7) =	366.96
	Prob > chi2 =	0.0000
Log likelihood = -506.70216	Pseudo R2 =	0.2658

Participa	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
IJ	-.0015887	.0004509	-3.52	0.000	-.0024724	-.000705
SJ	-.2576033	.0635116	-4.06	0.000	-.3820837	-.1331229
ES	.0111987	.0032778	3.42	0.001	.0047744	.017623
M1	.4450994	.1049648	4.24	0.000	.2393721	.6508267
ST	.8637834	.1006943	8.58	0.000	.6664263	1.061141
IF	.004676	.000347	13.47	0.000	.0039958	.0053562
TF	-.0653669	.0255369	-2.56	0.010	-.1154183	-.0153156
_cons	-1.091211	.1932345	-5.65	0.000	-1.469943	-.7124778

FUENTE: Elaborado por los autores

En la decisión de laborar del trabajador secundario tiene efecto positivo la edad del trabajador secundario (ES), la presencia de menores de 5 años en el hogar (M1), trabajador secundario sea hombre (ST), ingresos familiares (IF). Tienen efecto negativo el ingreso del jefe del hogar (IJ), jefe del hogar mujer (SJ) y tamaño de la familia (TF).

El efecto de la edad del trabajador secundario se explica debido a que a medida aumenta la edad del trabajador, podría sentirse cada vez más en una carga familiar. Asimismo, la presencia de menores de 5 años justifica esta decisión, puesto que por la naturaleza humana sabemos que debemos atender las necesidades de nuestros hijos o hermanos menores. Esto se hace evidente en cuanto el trabajador secundario es hombre, que en muchos casos podrían ser los hijos mayores quienes tienen que ver por lo menores. Un resultado no esperado es el hecho que es más probable que decidan

laborar los trabajadores secundarios en los cuales los ingresos familiares son mayores, una razón que explicaría este fenómeno es el hábito de trabajar de los trabajadores secundarios ya adquirido.

Por el contrario, los jefes del hogar con mayores ingresos se opondrán a que su cónyuge o hijos formen parte de la masa laboral. Asimismo, si el jefe del hogar es una mujer, muy probablemente es porque su cónyuge no está en condiciones de laborar, o simplemente lo ha abandonado, siendo la mujer la que enfrente los problemas económicos. Más bien llama la atención el efecto negativo del tamaño de la familia en la decisión de trabajar de este trabajador, por cuanto siendo mayor el número menos posibilidades tiene de formar el mercado laboral, una explicación que podría dársele es que corresponda a hogares con hijos pequeños y el trabajador secundario que alcanzó la edad mínima de la PEA tenga como responsabilidad cuidarlos.

Los trabajos referidos no explican las razones por las que los factores significativos tienen una influencia positiva o negativa sobre la decisión de laborar del trabajador secundario, limitándose solo a establecer la dirección, positiva o negativa, de la influencia.

Paz<sup>1</sup> mostró que la mayor educación del trabajador secundario, el ser varón, el ser hijo del jefe y el tener un salario horario potencial más alto influyen positivamente en esta decisión; en cambio, el ser esposa del jefe del hogar y, siendo la esposa, el tener menores de edad a cargo, el ser hijo del jefe y estar estudiando (a la vez), el tener mayores ingresos de fuentes no laborales y el vivir en un hogar regido por jefe y con nivel educativo alto tienen relación inversa con tal decisión. Aún cuando pueda existir diferencia en la estimación de los coeficientes empleando el modelo logit en comparación con el modelo probit utilizado en el presente trabajo, existe una relación directa entre los coeficientes entre uno y otro modelo, que no altera la significancia de los mismos. Entonces, hay coincidencia en el efecto positivo para la decisión de laborar el que el trabajador secundario sea hombre, y efectos no concordantes la presencia de menores de 5 años en el hogar, aunque la diferencia puede deberse a que en nuestro trabajo no se considera que simultáneamente sea la esposa quien los tiene a su cargo.

La muestra estuvo conformada por 18466 trabajadores en 1992, por 26068 en 1995 y 22230 en 1999, cifras importantes para el análisis de la bondad de los modelos estimados.

La comparación con los estudios realizados por el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo en Perú<sup>2,3</sup> es más limitada. En el primero de los trabajos se indica que se empleó un modelo tipo logit, que en nuestra opinión por los resultados mostrados corresponde al modelo lineal de probabilidad, y en el segundo caso aún cuando se empleó el modelo logit, no se presentan los coeficientes de regresión de las variables en estudio, únicamente se muestran el signo de los coeficientes significativos. El primer estudio reveló como factores que favorecen la decisión de trabajar de los trabajadores secundarios su educación y

edad, así como PET femenina/PET familiar y el número de menores de 14 años/PEA ocupada familiar. En cambio, los factores con efecto negativos fueron el sexo del trabajador secundario, el ingreso laboral del resto de la familia, ingreso no laboral familiar, el número de miembros del hogar y la educación promedio de la PEA.

El segundo estudio muestra que tienen efecto positivo en la decisión del trabajador secundario los años de estudio, la presencia de menores de 5 años en el hogar y de menores de 5 a 13 años a cargo de la cónyuge, la tasa de desocupación familiar, la PET femenina/PET total, el promedio de los años de estudio de la PEA familiar y el tamaño de la familiar. Asimismo, tienen efecto negativo el que el trabajador secundario sea mujer, sea la cónyuge, un hijo que estudia o que la cónyuge tenga menores de 5 años a su cargo, el ingreso del resto de la familia, los ingresos no laborales, los años de estudio del jefe, el tamaño de la familia y los menores de 14/PEA ocupada. Si bien este trabajo es ambicioso en cuanto al número de variables independientes incluidas, no es muy explícito a los argumentos teóricos. La cantidad de variables significativas y la forma de crear estas variables contrasta en cierto modo con el coeficiente R-cuadrado de McFadden, cuyo valor es de 0.2078, que en cierto modo puede ser indicador de multicolinealidad, menor que el obtenido en nuestro trabajo con un Pseudo R<sup>2</sup> de 0.2658 y que los obtenidos por Paz<sup>1</sup> con valores de 0.245, 0.248 y 0.249. Aunque tiene a su favor el empleo de 18309 trabajadores secundarios en la estimación del modelo.

Por su parte Abanto<sup>4</sup>, encontró influencia positiva de la edad del trabajador secundario, el ingreso no laboral de la familia, el ser hijo y los años de estudio del trabajador secundario. Por el contrario, tienen efecto negativo el que el jefe de familia se encuentre ocupado (con cualesquier nivel de ingresos) y su educación, el tamaño de la familia, y que el trabajador secundario estudie, su edad<sup>2</sup>, sea la cónyuge o tenga hijos menores de 5 años o sea un hijo que se encuentra estudiando. Al comparar con nuestros resultados, hay coincidencia del efecto de la edad, no se examinó el efecto cuadrático de la misma, y también respecto al ingreso del jefe del hogar, visto aquí en combinación con la ocupación del mismo. Aunque en este trabajo no se presenta el pseudo valor de R<sup>2</sup>, a diferencia del trabajo del Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo en Perú<sup>3</sup> que utilizó información 18309 de trabajadores secundarios, ahora se empleó 5573809 sin construir variables muy elaboradas, en ambos casos basados en ENAHO 2001-III.

El efecto de la contribución marginal en la decisión de laborar del trabajador secundario se muestra en la tabla 2. Las variables con efecto positivo con mayor influencia sobre la decisión de laborar del trabajador secundario es que sea hombre y haya la presencia de menores de 5 años en el hogar. En cambio, se oponen más a esta decisión que el jefe del hogar sea mujer.

TABLA N° 2  
EFECTOS MARGINALES DE LA FUNCIÓN PROBIT DE LA PARTICIPACIÓN LABORAL DEL TRABAJADOR SECUNDARIO

Probit regression, reporting marginal effects  
Log likelihood = -506.70216  
Number of obs = 1094  
LR chi2(7) = 366.96  
Prob > chi2 = 0.0000  
Pseudo R2 = 0.2658

Partic-a	dF/dx	Std. Err.	z	P> z	x-bar	[	95% C.I.	]
IJ	-.0005425	.0001533	-3.52	0.000	150.904	-.000843	-.000242	
SJ	-.0879661	.0217736	-4.06	0.000	.83638	-.130642	-.045291	
ES	.0038241	.0011201	3.42	0.001	32.1874	.001629	.006019	
ML <sup>4</sup>	.1584676	.038423	4.24	0.000	.287934	.08316	.233775	
ST <sup>4</sup>	.3059131	.0356323	8.58	0.000	.35649	.236075	.375751	
IF	.0015967	.0001204	13.47	0.000	105.695	.001361	.001833	
TF	-.0223214	.0087167	-2.56	0.010	4.62157	-.039406	-.005237	

FUENTE: Elaborado por los autores.

#### • INTENSIDAD DE PARTICIPACIÓN EN MERCADO LABORAL

El modelo de regresión tobit para examinar los factores asociados al número de horas que el trabajador secundario labora a la semana se muestra en la tabla 3. En forma similar, se presenta el modelo estimado después de haber eliminado los factores no significativos.

Los factores asociados a la intensidad laboral de los trabajadores secundarios son los mismos que para la decisión de laborar. La influencia de estos factores se da en la misma dirección. Es decir, los factores que determinan una mayor intensidad laboral en los trabajadores secundarios son la edad del trabajador secundario (ES), la presencia de menores de 5 años en el hogar (M1), trabajador secundario mujer (ST), ingresos familiares (IF), y los factores asociados a una menor intensidad laboral son el ingreso del jefe del hogar (IJ), jefe del hogar mujer (SJ) y tamaño de la familia (TF).

Los trabajos realizados por el Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo<sup>2,3</sup> no son aquí discutidos debido a que analizan la tasa de participación de la familia en la PEA, y no la intensidad laboral definida como el número de horas que el trabajador secundario labora a la semana.

En forma similar al presente trabajo, en el estudio de Paz<sup>1</sup>, se encontró en cada uno de los periodos estudiados, que las variables asociadas a la decisión del trabajador secundario de laborar son las mismas que influyen en el número de horas semanales que dedican a laborar, con influencia en la misma dirección, la cual se mantiene a lo largo de los tres periodos estudiados: 1992, 1995 y 1999. La educación del jefe del hogar es la única variable que no mostró influencia significativa el 1999.

**TABLA N° 3**  
**ANÁLISIS TOBIT DEL TIEMPO QUE LABORA SEMANALMENTE**  
**EL TRABAJADOR SECUNDARIO RETIRANDO LOS FACTORES**  
**NO SIGNIFICATIVOS**

. tobit Horas IJ SJ ES M1 ST IF TF, 11

Tobit regression	Number of obs	=	1094
	LR chi2(7)	=	349.75
	Prob > chi2	=	0.0000
Log likelihood = -2174.2623	Pseudo R2	=	0.0744

Horas	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
IJ	-.0780256	.0179088	-4.36	0.000	-.1131654	-.0428859
SJ	-8.272095	2.737056	-3.02	0.003	-13.64261	-2.901584
ES	.4145893	.1345696	3.08	0.002	.1505438	.6786348
M1	18.27308	4.211612	4.34	0.000	10.00927	26.53689
ST	34.41692	4.025222	8.55	0.000	26.51884	42.31501
IF	.1721762	.0133773	12.87	0.000	.1459279	.1984245
TF	-2.595527	1.073869	-2.42	0.016	-4.702617	-.4884371
_cons	-41.09662	8.21827	-5.00	0.000	-57.22209	-24.97115
/sigma	46.82082	2.022762			42.85185	50.78978

Obs. summary: 739 left-censored observations at Horas<=0  
355 uncensored observations  
0 right-censored observations

FUENTE: Elaborado por los autores.

La coincidencia de los factores asociados significativos para cada uno de las variables de la participación laboral de los trabajadores secundarios, no se confirma en el estudio realizado por Abanto<sup>4</sup>. En primer lugar, el ingreso del trabajador que no fue incluida en el modelo probit, ahora tiene efecto significativo en el número de horas semanales que labora, lo cual refleja el costo de

oportunidad, de manera que mientras mayor es el ingreso que percibe se está dispuesto a trabajar más. Asimismo, la variables que cambiaron el sentido de su influencia fueron el tamaño de la familia que ahora muestra un efecto positivo contrario a los resultados de nuestro trabajo, y los años de estudio del trabajador secundario.

Finalmente, se debe mencionar que aún cuando la muestra considerada en el presente estudio es suficientemente grande, es inferior a las utilizadas en los trabajos referidos, aspecto que como se indicó tiene efecto sobre la bondad de las estimaciones en caso de que el estudio se hubiera fraccionado en grupos específicos de trabajadores secundarios, como en algunos de los trabajos mostrados.

### CONCLUSIONES

Los factores asociados positivamente a la participación laboral de los trabajadores secundarios en el distrito de Guadalupe, definido tanto en la decisión de participar en la fuerza laboral como en el número de horas semanales laboradas, fueron la edad del trabajador secundario, la presencia de menores de 5 años en el hogar, trabajador secundario mujer, ingresos familiares. En cambio, los factores asociados negativamente fueron el ingreso del hogar, jefe del hogar mujer y el tamaño de la familia.

### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Trujillo, la mejor Universidad del Norte del Perú, por hacer posible el presente estudio.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Paz J. Oferta laboral de reserva en la Argentina (una nueva mirada sobre el efecto del trabajador adicional. Universidad Nacional de Salta; 2001.
- [2]. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. Programa de estadísticas y estudios laborales. Participación laboral: un enfoque de oferta familiar de trabajo. Boletín de economía laboral; 2000:16.
- [3]. Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. Programa de estadísticas y estudios laborales. El trabajador independiente urbano: un enfoque de oferta laboral familiar. Boletín de economía laboral; 2002:22-24; 43-66.
- [4]. Abanto E. Modelos probit y tobit aplicados al estudio de la oferta laboral de los trabajadores secundarios [monografía para título profesional]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2003.
- [5]. Uribe J. Ensayos de economía aplicada al mercado laboral. Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle; 2006.

E-mail: cminchonm@gmail.com  
carlos.sanchez.t@gmail.com

# ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO DE UNA NEURONA ARTIFICIAL PERCEPTRON PARA RECONOCIMIENTO DE CARACTERES, APLICANDO PRINCIPIOS HEURISTICOS

## ALGORITHM OF TRAINING ARTIFICIAL NEURON PERCEPTRON FOR RECOGNITION OF CHARACTERS, APPLYING HEURISTIC PRINCIPLES

Mario G. Borja-Borja<sup>a</sup>, Sally K. Torres-Alvarado<sup>a</sup>

### RESUMEN

En el presente trabajo se aborda el tema de reconocimiento de caracteres impresos aplicando una neurona artificial tipo perceptron para cada letra del abecedario. Generalmente, para la solución de problemas de reconocimiento de caracteres se parte del echo de la complejidad del problema y se crea estructuras muy complejas de redes neuronales artificiales con una gran cantidad de neuronas organizadas en varias capas, dando origen a complejos algoritmos de entrenamiento que debe operar durante largos periodos para encontrar la solución adecuada y por otra lado también el tiempo de reconocimiento aumenta debido a la gran cantidad de calculo que se debe realizar para obtener el resultado. En este trabajo se propone un algoritmo que reduce el tiempo de entrenamiento y a su vez permite resolver el problema de reconocimiento de un carácter en una neurona artificial tipo perceptron aplicando principios heurísticos, los cuales consideran características propias del problema de reconocimiento de letras, características propias de las letras y otras. Los resultados obtenidos nos permiten implementar soluciones de reconocimiento de caracteres más rápidas debido a la gran reducción de cálculo durante el entrenamiento y también durante el funcionamiento, ya que cada carácter solo requiere de una neurona artificial para ser reconocido. Por otro lado este algoritmo puede ser generalizado para plantear algoritmos de entrenamiento para redes neuronales artificiales multicapa.

**Palabras Clave:** neuronas, artificiales, reconocimiento de caracteres, perceptron.

### ABSTRACT

In the present work there is approached the topic of recognition of printed characters applying an artificial neuron type perceptron for every letter of the alphabet. Generally, for the solution of problems of recognition of characters it is considered to be a complex problem and very complex structures of neural artificial networks are created by a great quantity of neurons organized in several caps, giving origin to complex algorithms of training that must operate during long periods to find the suitable solution and for other one side also the time of recognition to increase due to the great quantity of calculation that it is necessary to realize to obtain the result. In this work one proposes an algorithm that reduces the time of training and in turn there allows to solve the problem of recognition of a character in an artificial neuron type perceptron applying heuristic principles, which consider own characteristics of the problem of recognition of letters, own characteristics of the letters and others. The obtained results allow us to implement more rapid solutions of recognition of characters due to the great reduction of calculation during the training and also during the functioning, since every alone character needs of an artificial neuron to be recognized. On the other hand this algorithm can be generalized to raise algorithms of training for neural artificial networks multicaps.

**Keywords:** Neurons, artificial, recognition of characters, perceptron.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad se requiere de nuevas aplicaciones que permitan obtener datos, realizar búsquedas, clasificar, etc documentos impresos para reducir el tiempo de registro manual de información referente, en los sistemas de información computarizados.

La presente investigación propone un algoritmo de entrenamiento de una neurona artificial tipo perceptron en base a principios heurísticos que consideran las características propias de la aplicación de reconocimiento de letras impresas que permite reducir el tiempo de entrenamiento y también permite implementar el reconocimiento de un carácter en una neurona artificial.

### METODOLOGÍA

Una neuronal artificial tipo perceptron se presenta en la Fig 1. En la entrada de la neurona tenemos el vector de entrada  $e$  que representan los puntos negros o blancos que forman una letra representada en forma de matriz. Cada entrada tiene un peso que representa la influencia de dicha entrada en el funcionamiento de la neurona artificial.

El funcionamiento de la neurona artificial se puede representar matemáticamente con las ecuaciones (1) y (2):

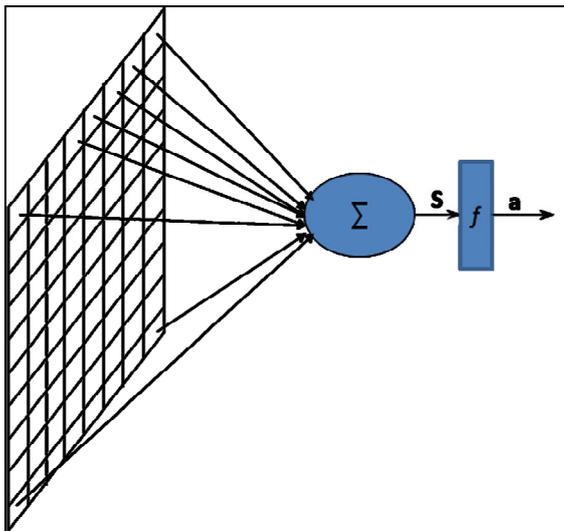
$$S = \sum_{i=1}^n e_{(i)} * p_{(i)} \quad (1)$$

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería de Sistemas, Computo y Telecomunicaciones, Universidad Inca Garcilazo de La Vega, Perú.

$$a = \begin{cases} 1 & \text{Si } S \geq U \\ 0 & \text{Si } S < U \end{cases} \quad (2)$$

**S** – Sumatoria  
**e** – Vector de entradas  
**p** – Vector de pesos  
**U** – Umbral  
**a** – Resultado

Según (1) para calcular la **S** debemos encontrar la sumatoria del producto de las entradas por los pesos y el resultado de la neurona la cual tiene dos estados activado 1 y desactivado 0 se calcula con (2) en donde si **S** sobre pasa el umbral se activa, en caso contrario de desactiva.



**Fig. 1: Neuronal artificial**

Como podemos apreciar el funcionamiento de la neurona artificial no es complejo sin embargo si tenemos los pesos adecuados puede resolver problemas complejos como el reconocimiento de caracteres.

Un algoritmo común [1] de entrenamiento durante el cual se actualiza los pesos tenemos en (3) y (4):

$$P_i = P_{i-1} + k \cdot e_i \cdot \text{Err} \quad (3)$$

$$\text{Err} = (U - S) \quad (4)$$

Donde:

$P_i$  – Peso nuevo  
 $P_{i-1}$  – Peso anterior  
 $k$  - Velocidad de aprendizaje  
 $\text{Err}$  – Diferencia entre el valor de Umbral me la sumatoria

Realizando un análisis minucioso del proceso de reconocimiento de caracteres desde un punto de vista heurístico, para garantizar la convergencia y rapidez del algoritmo de entrenamiento (3) se debe tener las siguientes consideraciones:

1. Para la actualización de los pesos solo se debe considerar los puntos que representen el caracter, más no el fondo.
2. Para que se distribuya el conocimiento en todos los

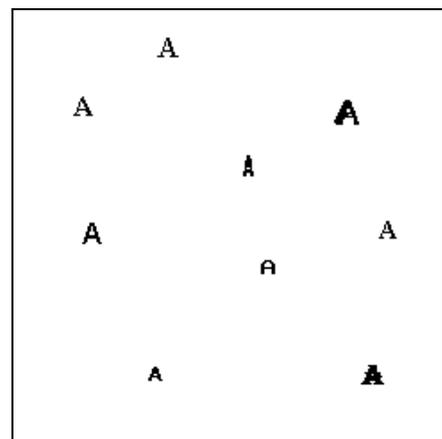
pesos de las entradas se debe seleccionar un valor de  $k$  pequeño.

3. Para obtener pesos heterogéneos actualizar cada peso calculando un nuevo error.
4. Ingresar los patrones de entrenamiento en orden empezando por aquellos que están formados por menos puntos negros a aquellos que contienen una gran cantidad de puntos negros.
5. Durante el entrenamiento con cada patrón solo actualizar los pesos de aquellos que no han sido actualizados anteriormente.
6. En caso que se active la neuronal artificial con carácter semejante, ajustar los pesos en lo que dicho carácter es diferente para acentuar la diferencia.

El algoritmo propuesto a sido implementado en un prototipo desarrollado en Visual C++, el cual toma una imagen de mapa de bits, realiza la binarización, segmenta los caracteres, expande o reduce el carácter según sea el caso a una dimensión de estándar de 20x16 puntos dando como resultado 320 entradas a la neurona artificial la cual realiza el reconocimiento.

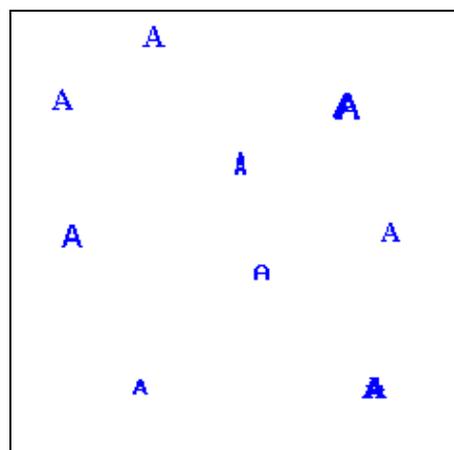
## RESULTADOS

Al prototipo ingresa una imagen como la que se presenta en la Fig. 2., en la cual se encuentra diversos tipo de de la letra A mayúscula, esta imagen es binarizada y se realiza la segmentación de cada carácter como se muestra en la Fig. 3.



**Fig. 2. Imagen digitalizada**

En la Fig. 4. se muestra la imagen del caracter segmentado y en la Fig. 5. se muestra la imagen de un carácter expandido.



**Fig. 3. Imagen binarizada y segmentada**

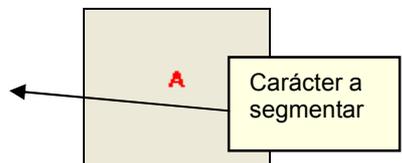


Fig. 4. Segmento de documento con carácter

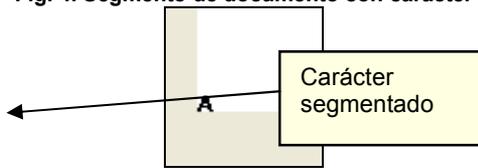


Fig. 6. Carácter segmentado

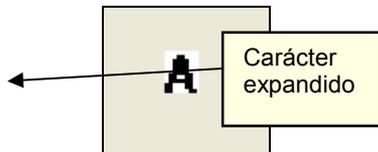


Fig. 7. Carácter expandido

Cada carácter expandido se pasa por la red neuronal ajustando los pesos para que la sumatoria resultante tienda a un valor de un umbral como se muestra en la Fig. 8. aplicando el algoritmo propuesto en la presente investigación.

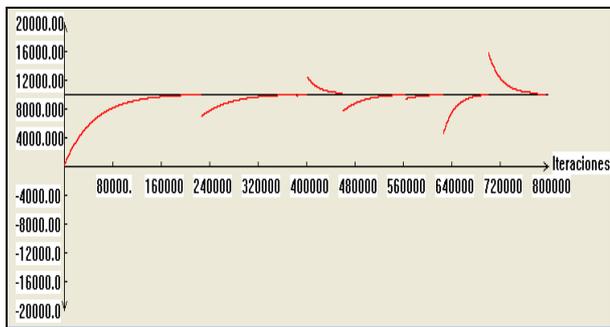


Fig. 8. Dependencia de S(iteraciones)

Como se puede apreciar en la Fig. 8. se muestra para cada una de los caracteres el ajuste de los pesos para que la sumatoria S se acerque al valor de umbral.

Los pesos que resultan del proceso de entrenamiento son utilizados para el funcionamiento de la neurona artificial durante el proceso de reconocimiento.

Para la verificación de la efectividad del funcionamiento de la neurona artificial utilizando los pesos obtenidos durante el entrenamiento se utiliza la imagen de entrada que se muestra en la Fig. 9.

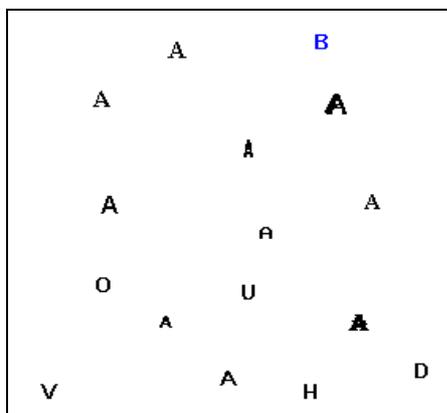


Fig. 9. Imagen con diversas letras

En esta imagen se incluye diversos caracteres semejantes a la al letra A para verificar la validez de los pesos obtenidos.

En las Fig. 10, Fig. 11. y Fig. 12 se presenta imágenes de resultados de funcionamiento de la neurona artificial utilizando los pesos obtenidos durante la el entrenamiento.



Fig. 10. Letra B no reconocida



Fig. 11. Letra A reconocida



Fig. 12. Letra A reconocida

## CONCLUSIONES

En base a los experimentos realizados utilizando el prototipo de software desarrollado en Visual C++, el cual implementa el algoritmo de entrenamiento propuesto en el presente trabajo podemos concluir que la convergencia del algoritmo es garantizada y rápida, como se puede ver en la Fig. 8., en donde se observa que en aproximadamente 8,000.000 iteraciones (actualizaciones de cada peso) se logra obtener los pesos adecuados para los nueve caracteres de entrenamiento.

Y se comprueba que los pesos obtenidos permiten reconocer otros tipos letra A mayúscula además de los tipos para los cuales fue entrenada la neurona artificial y detecta la diferencia con caracteres parecidos como la B, O, etc.

Los resultados de la presente investigación demuestran que si es posible implementar el reconocimiento de un carácter en una neurona artificial tipo perceptron con un limitador fuerte.

Adicionalmente se demuestra que un elemento de cálculo sencillo como es el perceptron permite resolver problemas complejos si se tiene los algoritmos apropiados para encontrar los pesos adecuados, lo cuales representa el conocimiento de la neurona artificial.

Por otro lado, se concluye que la efectividad de las soluciones en donde se utilizan neuronas artificiales depende estrictamente de los algoritmos para encontrar los pesos adecuados y también que dichos algoritmos basados en principios heurísticos son muy efectivos ya que las neuronas son elementos heurísticos y crean dicho comportamiento en las personas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Stuart Russell, Peter Norving. Inteligencia Artificial un enfoque moderno. Prentice Hall 1995. Segunda Edición.
- [2]. K.S. Fu; R.C. Gonzales; C.S.G. Lee. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. McGraw – Hill Book Company. 1989
- [3]. Nils J. Nilsson. Artificial Intelligence. Hardcover - 536 pages (April 1998) Morgan Kaufmann Publishers.
- [4.] Abhijit S. Pandya; Robert B. Macy Pattern Recognition with Neural Networks in C++. IEEE PRESS. 1995.
- [5.] Jang, J. -S. R. Sun, C. -T. Mizutami, E. Neuro – Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Upper Saddle River: Prentice Hall INC., 1997.
- [6.] Fayin, L. Wechsler, H. Open Set Face Recognition Using Transduction. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, November 2005, v.27 n.11, p.1686-1697.
- [7.] Torres, S. Reconocimiento Facial para Identificación de Personas mediante Redes Neuronales. Informe Técnico de Investigación RES. REC. N° 372.07-RR – FIIS - UNAC, Setiembre, 2008.

# Identificación de la Respuesta de Estructuras con Aislamiento de Base durante Terremotos de Gran Magnitud

O. A. Z. Sotomayor<sup>a</sup>, C. A. V. Cardoso<sup>b</sup> y J. F. Tisza C<sup>c</sup>

## RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados iniciales de la aplicación de técnicas de identificación continua en el análisis estructural de edificaciones sometidas a acciones sísmicas de gran intensidad. Resultados de simulaciones numéricas de una estructura real con tres grados de libertad y aislamiento de base, perturbada con datos reales del Terremoto de Pisco, muestran que el modelo identificado en el primer modo por encima de la base captura las principales características dinámicas del sistema, indicando que la respuesta estructural es dominada por la forma modal de la base.

**Palabras clave:** Identificación de sistemas, Respuesta sísmica, Análisis estructural, Sistemas vibratoriales.

## ABSTRACT

The present work, show the initial results of the application from techniques for continuous identification in the structural analysis on an construction submitted to seismic actions of great intensity. The results from applied numerical simulations to real structure with three degrees of freedom isolated in basement, it is submitted to disturbances with real data of the Earthquake of Pisco, showing that the model identified in the first floor over the base captures the main dynamic characteristics of the system, indicating that structural answer is dominated by the modal form of the base.

**Key Words:** Identification of systems, seismic response, structural analysis, vibration systems

## INTRODUCCIÓN

Una de las más excitantes áreas de aplicación de la identificación de sistemas es con referente a la obtención de modelos matemáticos de estructuras a partir de sus respuestas a terremotos de gran magnitud. La análisis de estos modelos y mediciones periódicas permiten la detección de daños en la estructura y la evaluación del nivel de protección y seguridad, incluyendo su contenido material y ocupantes humanos, lo cual es sin lugar a dudas una prioridad mundial [1], llevando en cuenta terremotos recientes ocurridos en Indonesia (2006), Perú (2007) y China (2008).

Innúmeros trabajos de identificación de sistemas estructurales han aparecido en la literatura, abarcando diversas técnicas de identificación y diversos tipos de modelos; ver por ejemplo [2],[3],[4],[5],[6],[7],[8]. Un extenso *review* sobre técnicas de identificación no lineal en estos sistemas estructurales es dado por [9]. La mayoría de estos trabajos tienen como finalidad obtener un modelo modal o un modelo físico de la estructura. El modelo modal define a respuesta dinámica de estructuras en función de frecuencias de resonancia (frecuencia natural no amortiguada), relaciones de amortiguamiento y formas modales. El modelo físico o espacial, es caracterizado por las matrices de masa, amortiguamiento y rigidez del sistema estructural.

El objetivo del presente trabajo es identificar un modelo continuo que represente la respuesta dinámica de una estructura de 3 pisos con aislamiento de base. Sistemas de aislamiento de base han recibido considerable atención para protección antisísmica de estructuras, debido a su sencillez, bajo costo, eficacia y facilidad de reparación en caso de daño.

En el presente caso, la estructura seleccionada es sometida a perturbaciones correspondientes a los registros del Terremoto de Pisco (2007), que con una magnitud de 7.9 Mw, fue uno de los mas grandes terremotos ocurridos en el Perú en los últimos 100 años. El modelo obtenido es usado para estimar los parámetros modales dominantes del sistema.

## ANÁLISIS Y SIMULACION DEL SISTEMA

### Sistema Estructural

Se considera una estructura de edificación de tres pisos con aislamiento de base, como mostrado en la Fig. 1. El aislamiento de base actúa como un sistema de control pasivo, el cual desacopla parcialmente la estructura del movimiento del terreno mediante mecanismos que

(a)Dr. O. A. Z. Sotomayor trabaja en el Núcleo de Ingeniería Eléctrica (NEL), Centro de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão-SE, Brasil (e-mail: [oscar@pqf.ep.usp.br](mailto:oscar@pqf.ep.usp.br)). (b) Dr. C. A. V. Cardoso trabaja en el NEL de la UFS, São Cristóvão-SE, Brasil (e-mail: [cvcardoso@ufs.br](mailto:cvcardoso@ufs.br)).

(c)Ing. J. F. Tisza C. trabaja en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Mecatrónica (FIEM), Universidad Tecnológica del Perú (UTP) y Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica(FIEE), Universidad Nacional de Ingeniería (UNI),Lima, Perú (e-mail: [jtisza@gmail.com](mailto:jtisza@gmail.com)).

incrementan la flexibilidad del sistema estructura-base y, al mismo tiempo, producen un amortiguamiento apropiado [10]. En caso de terremotos, este sistema absorbe parte de la energía inducida por el terreno, reduciendo el desplazamiento relativo entre elementos estructurales.

### Modelo Dinámico

La estructura tiene cuatro grados de libertad en la dirección horizontal. Dado que el efecto destructivo de los terremotos es producto de la vibración horizontal, en este estudio los grados de libertad son asumidos para ser solamente en esta dirección. El movimiento de la estructura se describe mediante un vector  $x(t)$  que representa el desplazamiento horizontal –según sus grados de libertad respecto a un sistema de referencia inercial–, debido a una fuerza de excitación  $F_d(t)$  producida por un movimiento sísmico horizontal. Así, la ecuación de movimiento del sistema es dado por:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = F_d(t) \quad (1)$$

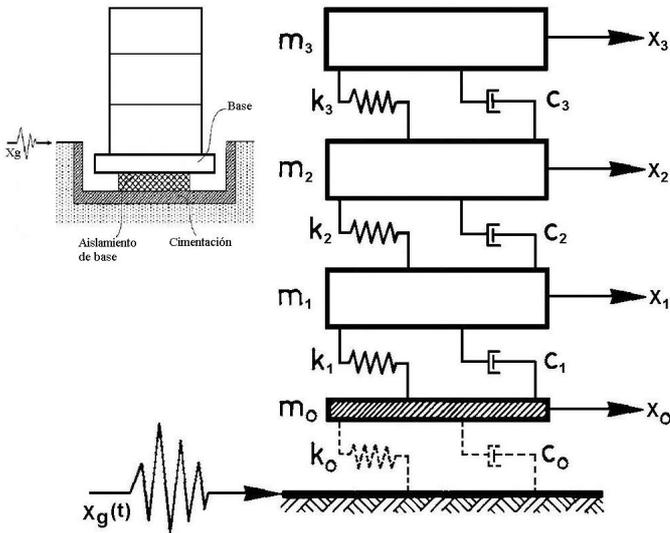


Fig. 1. Modelo dinámico de una estructura de tres pisos con aislamiento de base.

con:

$$x(t) = [x_0(t) \quad x_1(t) \quad x_2(t) \quad x_3(t)]^T$$

$$F_d(t) = [-c_0\dot{x}_g(t) + k_0x_g(t) \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T$$

$$M = \begin{bmatrix} m_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_0 + c_1 & -c_1 & 0 & 0 \\ -c_1 & c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ 0 & -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_0 + k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

donde  $x_i$ ,  $m_i$ ,  $c_i$  y  $k_i$  son el desplazamiento, la masa, el amortiguamiento y la rigidez en cada piso  $i$  ( $=1,2,3$ ), respectivamente,  $x_0$  y  $m_0$  son el desplazamiento y la masa de la base,  $c_0$  y  $k_0$  son el amortiguamiento y la rigidez de los aisladores y  $x_g$  es el desplazamiento del terreno inducido por el terremoto. Los parámetros del sistema pertenecen a un edificio real y son listados en la Tabla I, los cuales son tomados de [11].

### Parámetros Modales

El modelo descrito por (1) puede ser transformado en la siguiente ecuación de movimiento en espacio de estado:

$$\dot{z}(t) = Az(t) + B(t) \quad (2)$$

TABLA I  
PARÁMETROS DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Símbolo	Valor	Símbolo	Valor
$m_0$	450 000 kg	$k_3$	250 000 000 N/m
$m_1 = m_2 = m_3$	345 000 kg	$c_0$	26 170 N s/m
$k_0$	18 050 000 N/m	$c_1$	467 000 N s/m
$k_1$	326 000 000 N/m	$c_2$	410 000 N s/m
$k_2$	285 000 000 N/m	$c_3$	350 000 N s/m

donde:

$$z(t) = [x(t) \quad \dot{x}(t)]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix}, \quad B(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}F_d(t) \end{bmatrix}$$

Las frecuencias de resonancia  $\omega_n$  y las relaciones de amortiguamiento  $\xi$  son obtenidos a partir de un eigenanálisis de la matriz  $A$  en (2). Considerando que los autovalores de la matriz  $A$  tienen la forma  $s_i = \alpha_i + j\beta_i$  ( $i = 1, 2, \dots, r$ ;  $r = \text{rank}(A)$ ), las frecuencia de resonancia y las relaciones de amortiguamiento modales son [4]:

$$\omega_{n,i} = \sqrt{\alpha_i^2 + \beta_i^2} / 2\pi \quad (\text{Hz}) \quad (3a)$$

$$\xi_i = -\alpha_i / \omega_i \quad (\%) \quad (3b)$$

Usando (3a) y (3b) y los datos de la Tabela I, las frecuencias de resonancia del sistema son 0.54, 3.37, 6.27 y 8.42 Hz y las relaciones de amortiguamiento son 0.016,

0.095, 0.175 y 0.238 %, para la base y los pisos 1, 2 y 3, respectivamente.

## Respuesta de la Estructura al Terremoto de Pisco

### Terremoto de Pisco

“El Cinturón de Fuego del Pacífico” concentra la mayor zona de convergencia y subducción de placas tectónicas de la Tierra, además de una actividad volcánica constante, a las que se le puede asociar el 90% de la sismicidad total del planeta. Ubicado dentro de este Cinturón, el Perú se encuentra afectado por la subducción de la placa de Nazca (que se desplaza hacia el Este) bajo la sudamericana (que se desplaza hacia el Oeste), con una velocidad relativa de 7-8 cm/año [12]. Este proceso es responsable de la ocurrencia de los sismos que con diversas magnitudes se producen frente a la línea de la costa y a profundidades menores a 60 km.

El 15 de Agosto de 2007, a las 18h 40m 58 (hora local), la zona sur de la región central del Perú, fue afectado por un fuerte sismo que alcanza una magnitud de 7.0 ML (escala de Richter) y 7.9 Mw (escala magnitud de momento), con epicentro en 13.49° latitud Sur y 76.85° longitud Oeste, es decir a 60 km al Oeste de la ciudad de Pisco, razón por la cual fue denominado “Terremoto de Pisco” (ver mapa en la Fig. 2).



Fig. 2. Localización del Terremoto de Pisco.

El Terremoto de Pisco produjo daños importantes en un gran número de viviendas de la ciudad de Pisco (aproximadamente el 80%) y menos en localidades aledañas, donde se evaluaron intensidades de VI-VII MM (escala de Mercalli modificada). Este terremoto se constituye como uno de los más grandes ocurridos en esta región en los últimos 100 años y se caracterizó por presentar gran duración (aproximadamente 210 segundos) y la ocurrencia de dos frentes de onda (o frentes de ruptura) [13].

La Fig. 3 presenta el registro de la aceleración del suelo correspondiente a la componente transversal (EO) para el Terremoto de Pisco, obtenido por el acelerógrafo de

la estación UNSLG (ICA-2, 138 km de distancia epicentro-estación en dirección SE y 409 msnm) del CISMID (Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres), con un tiempo de muestreo de  $T_s = 0.01s$ . En el registro de aceleración se destaca la presencia de las dos frentes de onda que llegan con una diferencia de tiempo de 65 segundos aproximadamente. El primero identificado como R1 presenta una aceleración máxima de  $272.2 \text{ cm/s}^2$  y el segundo, R2 de  $175.08 \text{ cm/s}^2$ . La Fig. 3 también muestra los registros de velocidad y desplazamiento del suelo obtenidos por integración numérica por el método de Simpson a partir de los datos de la aceleración.

### Simulación de la Respuesta de la Estructura

Los registros del Terremoto de Pisco (componente EO) son usados como entradas de excitación a la estructura. En la práctica, no todos los grados de libertad son monitoreados para identificación experimental de la respuesta dinámica de una estructura. Sin embargo, en el presente caso, se considera que cada modo de la estructura está equipado con un aceleró-grafo, los cuales son usados como sensores. La Fig. 4 presenta los desplazamientos absolutos y relativos de la estructura.

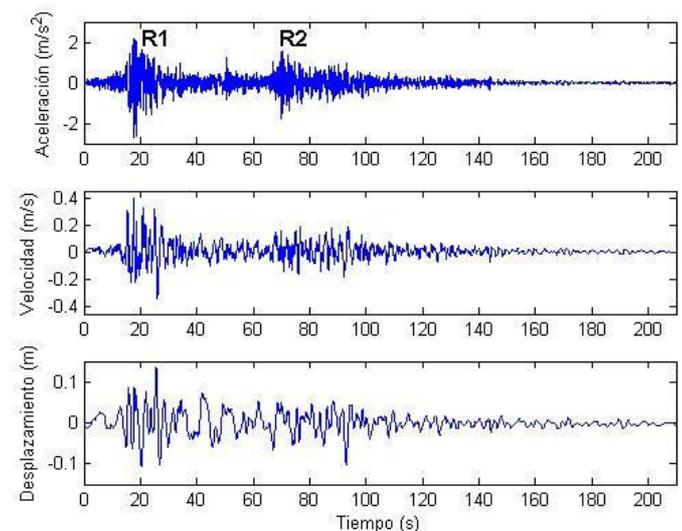


Fig. 3. Registros del terremoto de Pisco (componente EO).

En la Fig. 4, los desplazamientos absolutos fueron inferidos por integración on-line de los datos proporcionados por los acelerógrafos. Los desplazamientos relativos de los pisos son en relación al desplazamiento de la base. Estos desplazamientos dan una visión de los esfuerzos y tensiones que se producen en cada piso de la estructura, por lo que proporciona una medida del daño sufrido por dicha estructura. Como puede ser observado, los desplazamientos relativos de los pisos superiores respecto a la base son bien reducidos.

La Fig. 4 también muestra que la forma de operación estructural es dominada por un modo particular en una determinada frecuencia de resonancia.

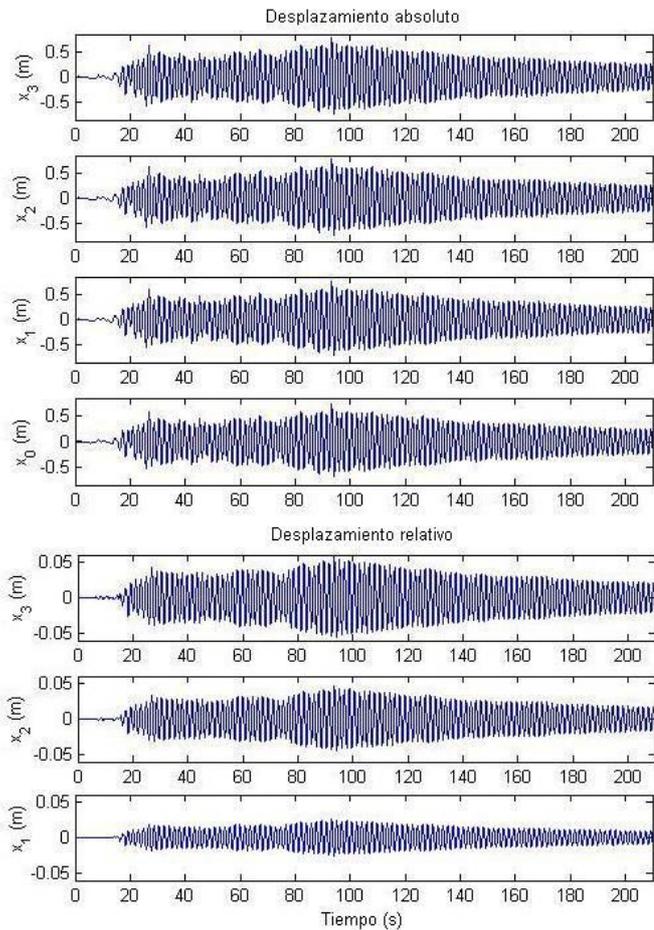


Fig. 4. Desplazamientos absolutos y relativos de la estructura.

### Procedimiento de Identificación

Como caso de aplicación del presente estudio, la identificación será realizada en el primer modo por encima de la base. La selección fue hecha tomando en cuenta que durante un terremoto la máxima conjunción de fuerzas inter-pisos sucede en el primer piso, donde es esperado el mayor efecto destructivo del fenómeno. Un modelo adecuado para describir la salida, desplazamiento en el piso 1, es una ecuación de segunda orden de la forma:

$$x_1(s) = \underbrace{\left( \frac{b_0}{s^2 + a_1s + a_2} \right)}_{G_1(s)} x_g(s) \quad (4)$$

Por tanto, el problema de identificación se reduce a obtener la función de transferencia  $G_1(s) = B(s)/F(s)$  usando datos de los desplazamientos de entrada  $x_g$  y salida  $x_1$ , del sistema.

Como es usual en todo procedimiento de identificación, los datos son pre-tratados antes de ser usados, i.e. remoción de su valor medio, eliminación de tendencias lineales y filtrado. Una parte de los datos correspondiente

a la frente de onda R1 (primeras 6500 muestras) es usado para identificación y otra parte de datos correspondiente a la frente de onda R2 (siguientes 6500 muestras) es usado para validación cruzada del modelo. La identificación es realizada usando el algoritmo de identificación SRIVC del CONTSID toolbox [14], que presenta nuevos métodos de identificación continua a partir de datos muestreados. La rutina de identificación es escrita de la siguiente manera:

```
z=iddata(x1, xg, Ts);
```

```
G=srivc(z, [1 2]);
```

lo que genera los siguientes resultados:

CT IDPOLY model:  $G(s) = [B(s)/F(s)]$

$B(s) = -11.11$

$F(s) = s^2 + 0.01736 (\pm 2.087e-5) s + 11.63 (\pm 3.691e-5)$

Estimated using SRIVC

Loss function 5.08272e-6 and FPE 5.08742e-6

Los valores entre paréntesis son las desviaciones estándar de los asociados parámetros identificados. La frecuencia de resonancia y la relación de amortiguamiento de este modelo son 0.5427 Hz y 0.0156 %, respectivamente, lo cual significa que la forma de operación estructural se aproxima de la forma modal de la base.

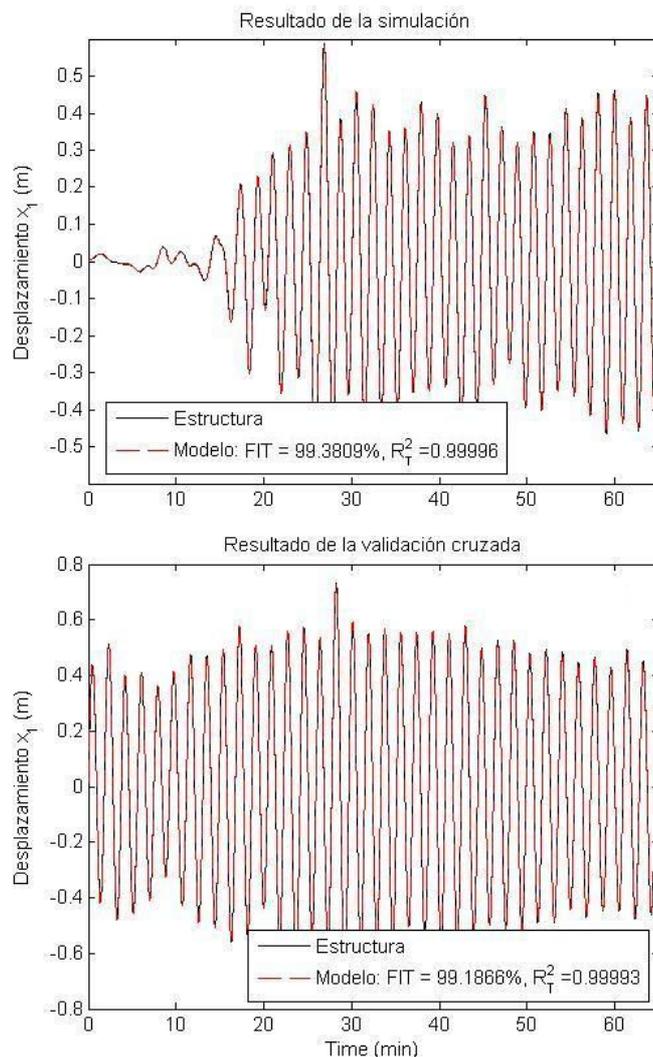


Fig. 5. Resultados de la simulación e validación cruzada del modelo

identificado

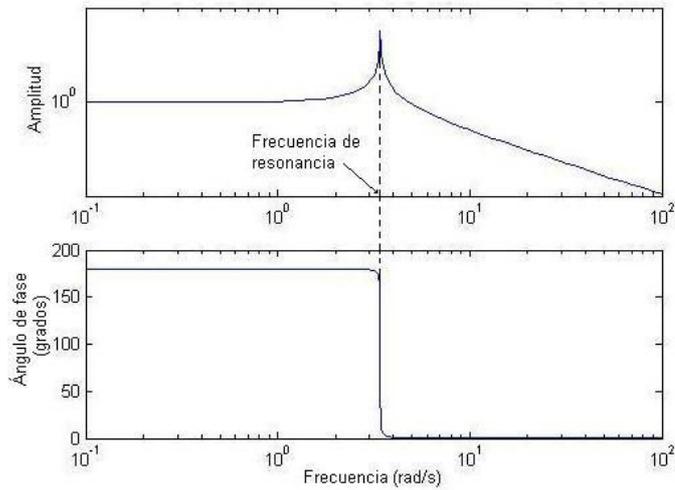


Fig. 6. Respuesta en frecuencia del modelo identificado.

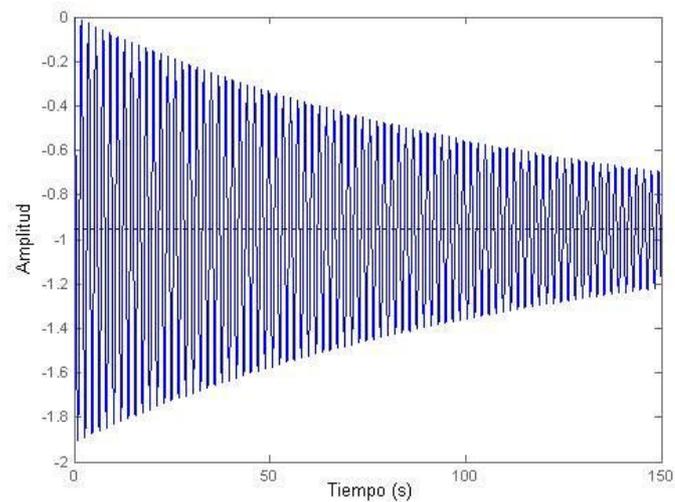


Fig. 7. Respuesta al escalón unitario del modelo identificado.

La Fig. 5 muestra los resultados de la simulación (identificación) y validación cruzada del modelo. Una rápida y simple inspección visual de estos gráficos e informaciones de los índices de desempeño (coeficiente de ajuste  $FIT$  e coeficiente de determinación  $R_T^2$ ) indican que el modelo identificado reproduce muy bien las dinámicas dominantes de la estructura. La Fig. 6 muestra la respuesta en frecuencia usando el diagrama de Bode y la Fig. 7 la respuesta al escalón unitario del modelo identificado, los cuales claramente indican el comportamiento sub-amortiguado del sistema.

## CONCLUSIONES

Este trabajo propone identificar la respuesta de una estructura de 3 pisos con aislamiento de base durante una excitación sísmica de grande magnitud. La aplicación de los datos de registro del Terremoto de Pisco, muestra que el control pasivo por aislamiento de base es efectivo para reducir los desplazamientos relativos de los pisos respecto a la base. Sin embargo, su capacidad para reducir la respuesta estructural a un sismo de gran magnitud es limitada, haciendo que la operación estructural sea dominada por un modo particular en una determinada frecuencia de resonancia. El procedimiento de identificación es realizado asumiendo un modelo continuo de segunda orden de la respuesta de la estructura en el primer piso y usando el toolbox de identificación continua CONTSID. Los resultados obtenidos indican que el modelo identificado representa muy bien las características dinámicas del sistema cuya respuesta estructural es dominada por la forma modal de la base.

Posteriores trabajos serán dirigidos a la consolidación de la metodología y factibilidad de aplicación en estructuras reales, identificación de estructuras con mayor grados de libertad y al uso de los resultados en el proyecto de sistemas de control activo de estructuras.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B.F. Spencer y M.K. Sain, "Controlling buildings: A new frontier in feedback", *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 17, n. 6, pp. 19-35, 1993.
- [2] H. Lus, R. Betti y R.W. Longman, "Identification of linear structural systems using earthquake-induced vibration data", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 28, n. 11, pp. 1449-1467, 1999.
- [3] W.J. Ko y C.F. Hung, "Extraction of structural systems matrices from an identified state-space system using the combined measurements of DVA", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 249, n. 5, pp. 995-970, 2002.
- [4] C.-H., Hung, W.-J. Ko y Y.-T. Peng, "Identification of modal parameters from measured input and output data using a vector backward auto-regressive with exogeneous model", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 276, n. 3-5, pp. 995-970, 2002.
- [5] T. Furukawa, M. Ito, K. Izawa y M.N. Noori, "System identification of base-isolated building using seismic response data", *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 131, n.3, pp. 268-275, 2005.
- [6] P.R.G. Kurka y H.N. Cambraia, "Application of multivariable input-output subspace identification technique in structural analysis", *Journal of Sound and Vibration*, vol. 312, n. 3, pp. 461-475, 2008.
- [7] K. Beyen, "Structural identification for post-earthquake safety analysis of the Fatih mosque after the 17 August 1999 Kocaeli earthquake", *Engineering Structures*, to be published.
- [8] D.M. Siringoringo y Y. Fujino, "System identification of suspension bridge from ambient vibration response", *Engineering Structures*, to be published.
- [9] G. Kerschen, K. Worden, A.F. Vakakis y J.-C. Golinval, "Past, present and future of nonlinear system identification in structural dynamics", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 20, n.3, pp. 505-592, 2006.
- [10] N.M. Amaya, "Sistemas de control pasivos y activos de aislamiento de base para edificios sometidos a acciones sísmicas", *Revista Ingeniería & Desarrollo*, Universidad del Norte, Colombia, n.14, pp. 60-92, 2003.
- [11] R. Guclu, "Sliding mode and PID control of a structural system against earthquake", *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 44, n. 1-2, pp. 210-217, 2006.
- [12] E. Norabuena, T. Dixon, S. Stein y C. Harrison, "Decelerating Nazca-South America and Nazca-Pacific plate motions", *Geophysical Research Letters*, vol. 26, n.22, pp. 3405-3408, 1999.
- [13] H. Tavera, I. Bernal y H. Salas, *El sismo de Pisco del 15 de agosto, 2007 (Mw=7.9 Mw)*, Instituto Geofísico del Perú, Lima, 2007.
- [14] H. Garnier, M. Gilson, T. Bastogne y M. Mensler, "The CONTSID toolbox: A software support for continuous-time data-based modeling", in *Identification of continuous-time models from sampled data*, Garnier, H. y L. Wang, Eds., Berlin: Springer-Verlag, 2008.

---

E-mail: jtisza@gmail.com

Presidencia : UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL PERÚ

« UTP »

Secretaría Ejecutiva Permanente:

CENTRO DE PREPARACION PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA

« CEPRECYT »

**CONCEJO DE COORDINACION INSTITUCIONAL (CCI) :**

- ALFREDO BABA NAKAO CEP
- BARTHELEMY D'ANS ALLENMAN IPA
- CARLOS ALBERTO ESTRADA YNDIGOYEN ISTEP JOSE PARDO
- DANIEL MATALLANA ROSE FAP
- DUNCAN AMADEO QUISPE RIOS UTP
- FLOR DE MARIA MADRID IBARRA CBP-URP
- GABRIEL TIRADO MENDOZA UTP
- HUMBERTO YAMAMOTO MORINAKA SINDES
- JUAN TISZA CONTRERAS UTP
- JOAN TINCOPA LÁNGLE GEOCIENCIAS
- JOSÉ REY VILLACORTA AULA VIRTUAL
- JORGE SERQUÉN JIMÉNEZ S.F.B Y CMS
- JOSÉ HUGO TEZEN CAMPOS UNAC
- LEIDA YENNY BALLARTA CARRANZA UTP
- LUIS ROMERO ECHEVARRÍA IPA
- LORENA M. ELÍAS DÍAZ CENTRO LANGLE
- LUIS CHIVILCHES A. CD LIMA-CIP
- MODESTO MONTOYA ZAVALETA InterCyT/Interscience
- MANUEL JOSÉ MARYINEZ ESPINAL PUCP
- PEDRO SALCEDO ESPARZA INFOHADE
- PAUL TRONCOSO CASTRO CD LIMA-CIP
- RAÚL ISHIYAMA CERVANTES CEIMA – INACET
- SARA LUZ CANALES AGUILAR UPIG
- VÉRONIQUE COLLIN CEPRECYT

# Consejo Científico Tecnológico Internacional

Presidente: **Fernando Ponce** (Arizona State University)  
Coordinador: **Modesto Montoya** (Universidad Nacional de Ingeniería)

Ciencias Básicas: Física	
Jaime Fernández-Baca (Presidente)	Oak Ridge National Laboratory, USA
Angel Bustamante (Coordinador)	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima
Dwight Acosta	Universidad Nacional Autónoma de México, México
Harold Blas	Instituto de Física Teórica de Sao Paulo, Brasil
Jorge Bravo	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Ana María Cetto	Universidad Nacional Autónoma de México, México
Alberto Gago	Pontificia Universidad Católica del Perú
Jean-Pierre Galaup	Université Orsay, Francia
José Manuel Hernández	Universidad Nacional Autónoma de México, México
Victor Latorre	Universidad Ricardo Palma, Perú
Jorge Linares	Universidad de Versailles St. Quentin en Yvelines, Francia
Benjamín Marticorena	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Perú
Claude Mazur	Comisión de Energía Atómica, Francia
Leonidas E. Ocola	Laboratorio Nacional de Argonne, USA
Pier Oddone	Fermilab, Batavia, Illinois, USA
Francois Piuze	Comisión de Energía Atómica, Saclay, Francia
Jose Segovia Juarez	University of Michigan, USA
Jorge Urdanivia	Universidad Nacional de Ingeniería, Perú
Francisco de Zela	Pontificia Universidad Católica del Perú
Agustín Zúñiga	Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú
Ciencias Exactas: Matemática	
Marcel Morales (Presidente)	Institut Fourier, Université de Grenoble, Francia
Félix Escalante (Coordinador)	Instituto de Matemáticas y Ciencias Afines (IMCA), Perú
César Camacho	Instituto de Matemáticas Puras y Aplicadas (IMPA), Brasil
Gonzalo Panizo	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Rubén Panta	Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil
Gerardo Ramos	Universidad Particular Ricardo Palma, Perú
Wilfredo Sosa	Instituto de Matemáticas y Ciencias Afines (IMCA), Perú
Ciencias Exactas: Química	
Giselle Sandí (Presidente)	Argonne National Laboratory, USA
Jorge Angulo	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Perla Balbuena	Texas A&M University, USA
Wilder Carrillo	Revista Z. Kristallogr. New Crystal Structures, Alemania
Jesús Américo Cjuno	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Carlos Cironi	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Olga Lock	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Fernando Quevedo	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Juan Carlos Rueda	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Julio Santiago	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Biología, Biología molecular, Bioquímica y Genética	
Marcos E. Milla (Presidente)	University of Pennsylvania, USA

José Espinoza (Coordinador de Biología Molecular y Genética)	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
José Luis Bauer (Coordinador de biología)	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
José Luis Aguilar	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
Carlos Bustamante	Universidad de California, Berkeley, USA
Ernesto Bustamante	University of North Carolina, USA
Patricia Herrera Velit	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
José Iannacone	Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú
Fabiola Leon Velarde	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
Martin Jorge Lopez Cordova	CyGene, Inc.
José Luis Fernando Luque	Universidade Federal Rural do Rios de Janeiro, Perú
George Edward Málaga Trillo	Universidad de Konstanz, Alemania
Ysabel Montoya	Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú
José Núñez Calderón	Universidad Nacional San Antúnez de Mayolo de Ancash, Perú
María Prado	Universidad del Sur. Argentina
Silvia Rondón	Universidad de Florida, USA
Verónica Rubin de Celis	Universidad Ricardo Palma, Perú
Jane C. Wheeler	CONOPA, Perú

### Ciencia de los Materiales

Oscar Perales Pérez (Presidente)	University of Puerto Rico, USA
Walter Estrada (Coordinador)	Universidad Nacional de Ingeniería, Perú
Javier Avalos	Universidad Metropolitana de Puerto Rico, USA
Ruth Campomanes	Instituto de Pesquisa Tecnológica, Sao Paulo, Perú
Nubia Caroca-Canales	Max Plank Institut fuer Chemische, Alemania
Carlos Fosca	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
Abel Gutarra	Universidad Nacional de Ingeniería, Perú
Anders Hagfeldt	Fysikalisk-kemiska institutionen, Uppsala, Suecia
Moisés Meza Pariona	Universidad Estadual de Ponta Grossa, Brasil
Fernando Ponce	Arizona State University, USA
Juan M. Rodríguez	Universidad Nacional de Ingeniería, Perú
Juan R. Rodríguez	IBM, Research Triangle Park, North Carolina , USA
José Solis	Universidad Nacional de Ingeniería, USA
Fernando Torres	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

### Microelectrónica

Carlos Silva (Presidente)	Pontificia Universidad Católica del Perú , Perú
---------------------------	-------------------------------------------------

### Ciencias y Tecnologías de la Información y la Comunicación: Fotónica y Dispositivos

Carmen González (Presidente)	Alcatel-Opto+, Francia
Víctor Khlebnikov	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
Jorge Heraud	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Hugo Hernández	Universidad de Campinas, Brasil

### Ciencias y Tecnología de la Información y la Comunicación: Software y Computación

Juan Rendón (Presidente)	Universitat Pompeu-Fabra, Barcelona , España
Nicolás Kemper Valverde	Universidad Nacional Autónoma de México, México
Máximo Lazo	Universidad New Mexico, Albuquerque, USA
Carlos Silva	Pontificia Universidad Católica del Perú , Perú
Guillermo Pacheco	Asociación Peruana de Software
Leonardo Antonio Rischmoller Delgado	Universidad de Talca, Chile

Roberto Tantaleán	University of Luisville, USA
Julio Tinoco	Universidad Tecnológica del Perú, Perú
Bertha Ulloa Rubio	Universidad César Vallejo, Perú
<b>Ciencias y Tecnologías de la Información y la Comunicación: Telecomunicaciones</b>	
<b>Luis Torres (Presidente)</b>	<b>Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones, Perú</b>
Silverio Bustos	Universidad Particular Ricardo Palma, Perú
Abel Castañeda	Alcatel
Guillermo Pacheco	APESOFT, Perú
Rafael Parra	Presidencia del Consejo de Ministros, Perú
Leandro Rodríguez	Lahmeyer, Perú
Carlos Sánchez	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Martín Sarango	Instituto Geofísico del Perú, Perú
Carlos Silva	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Carlos Valdez	Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú
<b>Ingeniería y Energía</b>	
<b>Jorge Seminario (Presidente)</b>	<b>Texas A&amp;M University, USA</b>
<b>Javier Piqué (Coordinador)</b>	<b>Universidad Nacional de Ingeniería, Perú</b>
Mario Almendrades	International Atomic Energy Agency, Viena, Austria
Aurelio Arbildo	Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú
José Arenas	International Atomic Energy Agency, Viena, Austria
Jorge Falla	Science Policy Research Unit, Universidad de Sussex, Inglaterra
Pedro Huertas	Massachusetts Institute of Technology, USA
Eduardo Ismodes	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Jaime Luyo	Universidad Tecnológica del Perú, Perú
Augusto Mellado	Universidad San Martín Porres, Perú
Edgardo Oliveros	Universidad Interamericana de Puerto Rico, USA
Wilfredo Palomino	Environmental Protection Agency, USA
Enrique Ciro Quispe Oqueña	Universidad Autonoma de Occidente, Colombia
Mario E Rodríguez	Universidad Nacional Autónoma de México, México
Arturo Rojas M.	Universidad Nacional de Ingeniería, Perú
Yván J. Túpac Valdivia	Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil
Sergio Ugarte	Northeastern University, Boston, USA
Clodomiro Unsihuay Vila	Universidad Federal de Maranhão, Brazil
<b>Energías Renovables</b>	
<b>Manfred Horn (Presidente)</b>	<b>Universidad Nacional de Ingeniería, Perú</b>
Vassili Samsonov	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
Julio César Romaní	Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú
<b>Geología y Minería</b>	
<b>Víctor Carlotto (Presidente)</b>	<b>Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Perú</b>
Douglas Arteaga	Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú
Dante Elías	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
<b>Ciencias de la Tierra, la Atmosfera y el Espacio</b>	
<b>Alberto Giesecke (Presidente)</b>	<b>Centro Regional de Sismología Para America del Sur, Perú</b>
<b>Pierre Soler (Coordinador)</b>	<b>Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD), Francia</b>
Nicole Bernex	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

Rafael Carlos	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Jorge Chau	Instituto Geofísico del Perú, Perú
Walter González	Instituto Nacional para Investigación Espacial, Sao Paulo, Brasil
César La Hoz	Universidad de Tromso, Noruega
Edmundo Norabuena	Universidad de Maimi, USA
Ronald Woodman	Instituto Geofísico del Perú, Perú
<b>Ciencias Agrarias</b>	
<b>William Roca (Presidente)</b>	<b>Centro Internacional de la Papa (CIP), Perú</b>
Jorge Luis Aliaga	Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
Julio Estuardo Amaya Robles	Universidad Estadual Paulista, Brasil
Augusto Becerra Lopez-Lavalle	CSIRO, Australia
Alexander Grobman Tversqui	Productora Agricola del Campo, Perú
Marcel Gutierrez	Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
Rossio Kersey	New Mexico State Universty, USA
Jaime Lazarte	Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú
Susana Milla	North Carolina State University, USA
Alfonso Palomo	Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú
Nelson Rivas	IICA, Venezuela
Raúl Siche	Universidad Estadual de Campinas, Brasil
Francisco Javier Zapata Arias	Laboratories Seibersdorf, International Atomic Energy Agency, Austria
<b>Ciencias Acuáticas</b>	
<b>Dennis del Castillo (Presidente)</b>	<b>Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), Perú</b>
César Lazcano	SEDAPAL, Perú
<b>Dinámica marina</b>	
<b>Pablo Lagos (Presidente)</b>	<b>Intituto Geofísico del Perú, Perú</b>
<b>Biología marina</b>	
<b>Renato Guevara (Presidente)</b>	<b>Instituto del Mar del Perú, Perú</b>
<b>Raúl Castillo (Coordinador)</b>	<b>Instituto del Mar del Perú, Perú</b>
Juan Tarazona	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. Perú
Sonia Sánchez	Instituto del Mar del Perú, Perú
Alvaro Edmundo Tresierra Aguilar	Universidad Nacional de Trujillo, Perú
<b>Ciencias Ambientales</b>	
<b>Antonio Galán de Mera (Presidente)</b>	<b>Fundación Universitaria San Pablo, España</b>
<b>Alfredo Oliveros (Coordinador)</b>	<b>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Perú</b>
Maximiliano Arroyo	Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Perú
Antonio Brack	ECODESC, Perú
Dora Cortijo	Consejo Nacional del Ambiente, Perú
Rosa Gálvez-Cloutier	Laval University, Canadá
Wilfredo Palomino	Environmental Protection Agency, USA
María Luisa del Río	Consejo Nacional del Ambiente, Perú
Sonia Valdivia	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
<b>Ciencias de la Salud: Medicina</b>	
<b>Jorge Burneo (Presidente)</b>	<b>University of Western Ontario, London Health Sciences Centre</b>
<b>Jorge Serquen (Coordinador)</b>	<b>Sociedad Francesa d Beneficiencia y Clinicas Maison de Sante, Perú</b>
Carlos Carrillo Parodi	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Prú
María Esperanza Catellanos	Hospital San Ignacio de Bogotá, Colombia

Alberto Cazoria Talleri	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
Angela María Cerquera	Hospital Universitario de Bogotá, Colombia
Gustavo González	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
William C. Hahn	Harvard Medical School, USA
Fernando Llanos	Instituto Nacional de Salud, Perú
Elydia Mujica	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Karina Rodríguez	North Carolina State University, USA
Manuel Sandoval	Albany Medical College, Albany, USA
Liliana Vargas	Universidad Autónoma de Barcelona, España
<b>Ciencias de la Salud: Medicina molecular</b>	
<b>Roberto Flores-Guevara (Presidente)</b>	<b>Instituto Nacional de la Salud y de la Investigación Médica, Francia.</b>
Francisco J. Barrantes	Universidad del Sur, Argentina
Lawrence A. Loeb	University of Washington, USA
<b>Educación</b>	
<b>Víctor Coronel (Presidente)</b>	<b>State University of New York, USA</b>
Diana Revilla	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
<b>Ciencias Sociales</b>	
<b>Ruth Shady (Presidenta)</b>	<b>Proyecto Arqueológico de Caral, Perú</b>
Ayme Buitron	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú
Julio Carrión	University of Delaware, USA
Julio Cotler	Instituto de Estudios Peruanos
Dennis Chávez de Paz	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
Carmen Arellano Hoffmann	Smithsonian/National Museum of the American Indian, USA
Nelson Manrique	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Ramiro Matos Mendieta	Smithsonian/National Museum of the American Indian, USA
Edgar Montiel	UNESCO, París, Francia
Pablo Quintanilla Pérez	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
Margarita Suárez	Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
<b>Ciencias económicas</b>	
Máximo Vega Centeno	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Humberto Campondónico	Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú
<b>Gestión Científica y Tecnológica</b>	
<b>Bernard Bigot (Presidente)</b>	<b>Comisión de Energía Atómica, Francia</b>
<b>Javier Verástegui (Coordinador)</b>	<b>Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Perú</b>
Jose Carlos Alvarez	Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
Mercedes Carazo	Red de Centros de Innovación Tecnológica, PRODUCE
Armando Gallegos	Gerens, Perú
Javier Guamizo	International Atomic Energy Agency, Viena, Austria
Piero Morosini	Escuela de Negocios, Laussane, Suiza
Victor Perez Centeno	Coordinador Regional para América Latina y el Caribe de UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas para el Comercio y Desarrollo) DITE/Division of Investment Technology and Enterprise Development. Investment Promotion Section, Ginebra, Suiza
José Valdez	Comisión de Política Científica y Tecnológica de CONFIEP, Perú
Abraham Vaisberg Wolach	Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú