

## Agujeros de Gusano en un *Background* Cosmológico

Carlos A. Marín\*

Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería –El Politécnico–  
Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador.

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: cmarin@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: Cesar Costa, PhD.

Recibido/Received: 11/22/2012. Aceptado/Accepted: 12/02/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012

### Abstract

Using Einstein's field equations, the energy-momentum tensor components are deduced for a Morris-Thorne wormhole in a cosmological background. The embedding surfaces for these wormholes are studied and also the red shift parameter is calculated in terms of the conformal factor  $\Omega$ . The exoticity condition is analyzed and an analytic solution for the form factor of such wormholes is introduced. Finally, we study the weak energy conditions (WEC) and deduce an equation for the acceleration parameter of the universe in terms of the conformal factor.

**Keywords.** Wormholes, conformal factor, general relativity, hyperspace, Einstein, acceleration parameter.

### Resumen

Usando las ecuaciones de campo de Einstein se deducen las expresiones de las componentes del tensor energía-momento para un agujero de gusano del tipo Morris-Thorne inmerso en un background cosmológico. Las superficies de inserción (embedding surfaces) para dichos agujeros son analizadas y se calcula la expresión del parámetro de corrimiento hacia el rojo en términos del factor conforme  $\Omega$ . Se analiza la condición de exotocidad y se introduce una solución analítica para la función de forma de un agujero de gusano de las características señaladas inmerso en un background cosmológico. Finalmente se analizan las condiciones de energía débil y se deduce una expresión para el parámetro de aceleración del universo en términos de dicho factor conforme.

**Palabras Clave.** Agujeros de gusano, factor conforme, relatividad general, hiperespacio, Einstein, parámetro de aceleración.

### Introducción

Un agujero de gusano (wormhole) es un túnel en el hiperespacio que conecta dos puntos en dos regiones asintóticamente planas en el espacio-tiempo [1, 2] (el hiperespacio es un espacio plano hipotético con más de tres dimensiones espaciales, en el que está contenido el espacio curvo de nuestro universo). Es una especie de "asa" en la topología del espacio-tiempo. Los agujeros de gusano eventualmente podrían conectar universos paralelos.

El wormhole tiene dos entradas llamadas "bocas". Las bocas están conectadas por un túnel a través del hiperespacio que puede ser muy corto (digamos unos pocos kilómetros de largo). Las bocas de un agujero de gusano "se parecen" al horizonte de sucesos de un agujero negro de Schwarzschild [2, 3, 4, 5, 6], con una diferencia

importante: el horizonte de sucesos de un agujero negro es, si despreciamos los efectos cuánticos, una superficie de una sola vía; cualquier cosa puede entrar en el agujero, sin embargo nada puede escapar. Por el contrario, las bocas de un wormhole son superficies que pueden ser cruzadas en ambas direcciones, hacia adentro del agujero de gusano y de regreso hacia el "universo externo" (nuestro universo). De acuerdo con las ecuaciones de campo de Einstein, el tiempo de vida de un wormhole es en promedio muy pequeño, por lo que nada en absoluto (persona, radiaciones, señal de cualquier clase) puede viajar a través del túnel del agujero de gusano. La única manera de mantener abierto el agujero por un tiempo mucho mayor es mediante la presencia de algún tipo de material "exótico", a lo largo del wormhole, que empuje sus paredes gravitacionalmente, manteniéndolas separadas. Para ello, se necesita una región del espacio-tiempo con curvatura negativa, similar a la superficie de una silla

ISSN 1390-5384



de montar. Al material se le denomina “exótico”, porque como Kip Thorne demostrara en 1985, debe tener una densidad de energía promedio negativa, con respecto a un haz de luz viajando a través del agujero de gusano. El material “exótico” repele gravitacionalmente los rayos de luz por lo que los haces luminosos se desenfocan, como se ilustra en la figura a continuación.

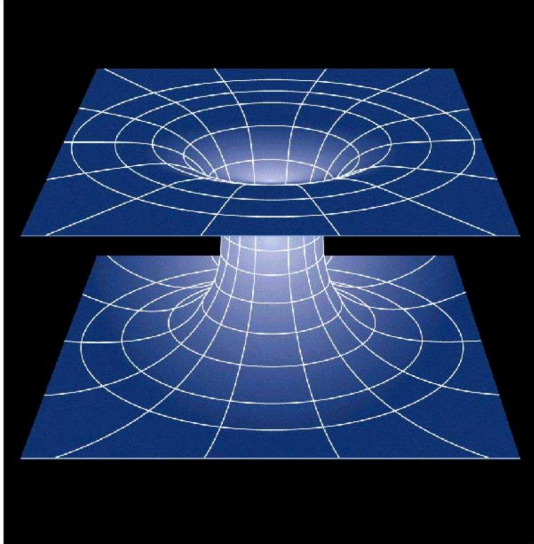


Figura 1: Wormhole

El que la densidad de energía promedio sea negativa no implica que el material exótico tenga una energía negativa con respecto a un observador en reposo en el interior del agujero de gusano. El concepto de densidad de energía es relativo al sistema de referencia utilizado; en un sistema de referencia, la densidad puede ser positiva, y en otro, negativa.

Nadie sabe exactamente de qué puede estar hecho el material exótico. Robert Wald [1] ha probado recientemente, que en un espacio-tiempo curvo, bajo una amplia variedad de circunstancias, la curvatura distorsiona las fluctuaciones del vacío de carácter gravitacional convirtiéndolas en exóticas debido a que su densidad de energía promedio se hace negativa. Dichas fluctuaciones del vacío son análogas a las fluctuaciones del vacío de naturaleza electromagnética. Son fluctuaciones aleatorias en la curvatura del espacio causadas porque regiones del mismo están continuamente tomando energía de regiones adyacentes, para luego devolverla. Bajo circunstancias ordinarias las fluctuaciones son tan pequeñas que ningún científico las ha podido detectar hasta ahora. Otra posibilidad es que el material exótico esté formado por energía oscura que, como sabemos, tiene densidad de energía negativa y es el 74 % de la energía del universo. Algunos detalles sobre las características del material exótico se describen en las referencias [1, 7].

En el presente documento continuamos con el análisis iniciado en los artículos “Agujeros de gusano: solución exponencial” [8] y “Agujeros de gusano y potenciales efectivos” [9]. En primer lugar, partiendo de las ecuaciones de campo de Einstein, calcularemos las componentes del tensor energía-momento para un agujero de gusano del tipo Morris-Thorne inmerso en un background cosmológico. Luego estudiaremos las superficies de inserción (embedding surfaces) para dichos agujeros y calcularemos la expresión del parámetro de corrimiento hacia el rojo en términos del factor conforme  $\Omega$ . Analizaremos la condición de exotividad y hallaremos una solución analítica para la función de forma de un agujero de gusano de las características señaladas en un background cosmológico. Finalmente analizaremos las condiciones de energía débil y calcularemos el parámetro de aceleración del universo en términos de dicho factor conforme.

## 1 Métricas

Consideremos la métrica:

$$(ds)^2 = e^{2\Phi} c^2 (dt)^2 - f^*(r) (dr)^2 - r^2 (d\Omega^*)^2 \quad (1)$$

donde  $s$  representa el elemento de arco,  $r$ ,  $\theta$  y  $\varphi$  son las coordenadas esféricas de un punto y  $t$  es el tiempo coordinado medido por un observador remoto en reposo.

$$(d\Omega^*)^2 = (d\theta)^2 + \sin^2 \theta (d\varphi)^2 \text{ y } f^*(r) = \left(1 - \frac{b(r)}{r}\right)^{-1}.$$

A  $b(r)$  se le denomina función de forma del agujero de gusano, y determina la forma espacial del mismo. La función  $\Phi = \Phi(r)$  se denomina función de corrimiento hacia el rojo.

La geometría determinada por dicha métrica, ha sido estudiada en detalle en las referencias [7, 8]. En el caso de un agujero de gusano inmerso en un background cosmológico, la mencionada métrica se puede generalizar a:

$$(ds)^2 = \Omega^2(t) \left[ e^{2\Phi} c^2 (dt)^2 - f(r) (dr)^2 - r^2 (d\Omega^*)^2 \right] \quad (2)$$

donde  $\Omega(t)$  es el factor conforme, el cual es finito y definido positivo a través del dominio de  $t$  [10].

$$f(r) = \frac{1}{1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}} \quad (3)$$

en la última expresión  $k$  es un parámetro independiente del tiempo que especifica la curvatura del universo y que puede ser  $k = +1$  para un universo cerrado (curvado en forma parecida a la superficie de una esfera),  $k = 0$  para un universo plano o  $k = -1$  en un universo abierto (curvado en sentido contrario como la superficie de una silla de montar)[3]. Cuando  $\Phi(r) \rightarrow 0$  y  $b(r) \rightarrow 0$ ,

$$(ds)^2 = \Omega^2(t) \left[ c^2 (dt)^2 - \frac{1}{1 - kr^2} (dr)^2 - r^2 (d\Omega^*)^2 \right] \quad (4)$$

que es la métrica de Friedmann-Robertson-Walker (FRW metric) [11]. Cuando  $\Omega(t) \rightarrow constante = 1$  y  $k \rightarrow 0$ , la métrica (2) se aproxima a la métrica estática de un agujero de gusano de Morris-Thorne (ecuación (1)).

## 2 Símbolos de Christoffel y Tensor de Riemann-Christoffel

Para la métrica (2), el cuadrado del elemento de arco  $(ds)^2$  se puede escribir:

$$(ds)^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (5)$$

donde

$$(g_{\mu\nu}) = \Omega^2(t) \begin{pmatrix} e^{2\Phi} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -f(r) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r^2 \sin^2 \theta \end{pmatrix}$$

El tensor contravariante correspondiente es:

$$(g^{\mu\nu}) = \Omega^{-2}(t) \times \begin{pmatrix} e^{-2\Phi(r)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(f(r))^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -r^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -(r^2 \sin^2 \theta)^{-1} \end{pmatrix}$$

por otro lado,

$$g = \det(g_{\mu\nu}) = -\Omega^8 r^4 \sin^2 \theta f(r) e^{2\Phi(r)} \quad (6)$$

Los símbolos de Christoffel de segunda especie son:

$$\Gamma_{\rho\sigma}^\mu = \frac{1}{2} g^{\mu\alpha} \left\{ \frac{\partial g_{\rho\alpha}}{\partial x^\sigma} + \frac{\partial g_{\sigma\alpha}}{\partial x^\rho} - \frac{\partial g_{\rho\sigma}}{\partial x^\alpha} \right\} \quad (7)$$

donde  $x^\mu$  es el cuadrivector posición de la partícula. Las letras griegas como:  $\mu, \sigma, \rho$ , etc. toman los valores 0, 1, 2 y 3. Hemos adoptado la convención de suma de Einstein en la que se suma sobre índices que se repiten dos veces.

En coordenadas esféricas  $x^0 = ct$ ,  $x^1 = r$ ,  $x^2 = \theta$  y  $x^3 = \varphi$ .

Dichos símbolos se pueden calcular facilmente usando el teorema:

Si  $g_{\mu\nu} = 0$  para  $\mu \neq \nu$  (métrica diagonal)

a)  $\Gamma_{\mu\nu}^\rho = 0 \forall \mu \neq \nu \neq \rho$ ,

b)  $\Gamma_{\mu\mu}^\mu = \frac{1}{2g_{\mu\mu}} \frac{\partial g_{\mu\mu}}{\partial x^\mu}$  para  $\mu$  fijo,

c)  $\Gamma_{\mu\nu}^\mu = \frac{1}{2g_{\mu\mu}} \frac{\partial g_{\mu\mu}}{\partial x^\nu}$  para  $\mu \neq \nu$  fijos,

d)  $\Gamma_{\nu\nu}^\mu = -\frac{1}{2g_{\mu\mu}} \frac{\partial g_{\nu\nu}}{\partial x^\mu}$  para  $\mu \neq \nu$  fijos,

El resultado es que los únicos símbolos de Christoffel diferentes de cero son:

$$\Gamma_{00}^0 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \quad (8)$$

donde  $\dot{\Omega} = \frac{d\Omega}{dt}$

$$\Gamma_{11}^1 = \frac{1}{2 \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)} \times \left[ 2kr + \left( \frac{rb'(r) - b(r)}{r^2} \right) \right] \quad (9)$$

donde  $b'(r) = \frac{db}{dr}$

$$\Gamma_{01}^0 = \Gamma_{10}^0 = \Phi'(r) \quad (10)$$

donde  $\Phi'(r) = \frac{d\Phi}{dr}$

$$\Gamma_{10}^1 = \Gamma_{01}^1 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \quad (11)$$

$$\Gamma_{20}^2 = \Gamma_{02}^2 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \quad (12)$$

$$\Gamma_{30}^3 = \Gamma_{03}^3 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \quad (13)$$

$$\Gamma_{21}^2 = \Gamma_{12}^2 = \frac{1}{r} \quad (14)$$

$$\Gamma_{31}^3 = \Gamma_{13}^3 = \frac{1}{r} \quad (15)$$

$$\Gamma_{32}^3 = \Gamma_{23}^3 = \cot \theta \quad (16)$$

$$\Gamma_{11}^0 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) e^{-2\Phi(r)} \frac{1}{1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}} \quad (17)$$

$$\Gamma_{22}^0 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) r^2 e^{-2\Phi(r)} \quad (18)$$

$$\Gamma_{33}^0 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) r^2 e^{-2\Phi(r)} \sin^2 \theta \quad (19)$$

$$\Gamma_{00}^1 = e^{2\Phi} \Phi'(r) \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \quad (20)$$

$$\Gamma_{22}^1 = -r \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \quad (21)$$

$$\Gamma_{33}^1 = -r \sin^2 \theta \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \quad (22)$$

$$\Gamma_{33}^2 = -\frac{\sin(2\theta)}{2} \quad (23)$$

El tensor de Riemann-Christoffel está dado por la expresión:

$$R_{\nu\rho\sigma}^\mu = \frac{\partial}{\partial x^\rho} (\Gamma_{\nu\sigma}^\mu) - \frac{\partial}{\partial x^\sigma} (\Gamma_{\nu\rho}^\mu) + \Gamma_{\alpha\rho}^\mu \Gamma_{\nu\sigma}^\alpha - \Gamma_{\nu\rho}^\alpha \Gamma_{\alpha\sigma}^\mu \quad (24)$$

Si el tensor métrico  $g_{\mu\nu}$  es diagonal,  $R_{\mu\rho\sigma}^\mu = 0$  para  $\mu$  fijo y  $R_{\nu\rho\rho}^\mu = 0$  para  $\rho$  fijo.

Las componentes del tensor de Riemann-Christoffel diferentes de cero son:

$$R_{101}^0 = -R_{110}^0 = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) e^{-2\Phi} \times \frac{1}{\left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)} - \Phi''(r) - (\Phi'(r))^2 + \frac{\Phi'(r) \left[ 2kr + \left( \frac{rb'(r) - b(r)}{r^2} \right) \right]}{2 \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)} \quad (25)$$

$$R_{202}^0 = -R_{220}^0 = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) e^{-2\Phi} r^2 - r \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \Phi'(r) \quad (26)$$

$$R_{303}^0 = -R_{330}^0 = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) e^{-2\Phi} \times r^2 \sin^2\theta - r \sin^2\theta \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \Phi'(r) \quad (27)$$

$$R_{001}^1 = -R_{010}^1 = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) - e^{2\Phi} \times \left[ (\Phi'' + (\Phi')^2) \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) - \frac{1}{2} \Phi' \left( 2kr + \frac{(b'r - b)}{r^2} \right) \right] \quad (28)$$

$$R_{020}^2 = -R_{002}^2 = -\frac{1}{c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) + \frac{1}{r} e^{2\Phi} \Phi' \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \quad (29)$$

$$R_{030}^3 = -R_{003}^3 = -\frac{1}{c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) + \frac{1}{r} e^{2\Phi} \Phi' \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \quad (30)$$

$$R_{212}^0 = -R_{221}^0 = -\frac{r^2}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) e^{-2\Phi} \Phi' \quad (31)$$

$$R_{012}^2 = -R_{021}^2 = -\frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \Phi' \quad (32)$$

$$R_{313}^0 = -R_{331}^0 = -\frac{r^2}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) e^{-2\Phi} \Phi' \sin^2\theta \quad (33)$$

$$R_{013}^3 = -R_{031}^3 = -\frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \Phi' \quad (34)$$

$$R_{212}^1 = -R_{221}^1 = kr^2 + \frac{1}{2} b' - \frac{b}{2r} + \frac{r^2}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 e^{-2\Phi} \quad (35)$$

$$R_{112}^2 = -R_{121}^2 = R_{113}^3 = -R_{131}^3 = -\frac{1}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \frac{e^{-2\Phi}}{\left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)} - \frac{\left( 2kr + \frac{(b'r - b)}{r^2} \right)}{2r \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)} \quad (36)$$

$$R_{313}^1 = -R_{331}^1 = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 e^{-2\Phi} r^2 \sin^2\theta + \sin^2\theta \left( kr^2 + \frac{b'}{2} - \frac{b}{2r} \right) \quad (37)$$

$$R_{323}^2 = -R_{332}^2 = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 e^{-2\Phi} r^2 \sin^2\theta + \sin^2\theta \left( kr^2 + \frac{b}{r} \right) \quad (38)$$

$$R_{232}^3 = -R_{223}^3 = \frac{1}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 e^{-2\Phi} r^2 + kr^2 + \frac{b}{r} \quad (39)$$

$$R_{202}^1 = -R_{220}^1 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \Phi' r^2 \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right) \quad (40)$$

$$R_{102}^2 = -R_{120}^2 = -\frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \Phi' \quad (41)$$

$$R_{303}^1 = -R_{330}^1 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \Phi' r^2 \sin^2\theta \times \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right) \quad (42)$$

$$R_{130}^3 = -R_{103}^3 = \frac{1}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) \Phi' \quad (43)$$

### 3 Marco de referencia propio

Consideremos dos sistemas de referencia, al uno lo llamaremos sistema de referencia no primado y al otro sistema primado. Sea  $\{\vec{e}_\alpha\}$  con  $\alpha = 0, 1, 2$  y  $3$  la base de vectores asociada al sistema de referencia no primado, y  $\{\vec{e}'_\alpha\}$  la base de vectores asociada al sistema primado ( $\vec{e}_\alpha, \vec{e}'_\alpha$ , son vectores en el espacio-tiempo, es



decir, tienen cuatro componentes). Un vector  $\vec{A}$  en el espacio tiempo se puede escribir:

$$\begin{aligned}\vec{A} &= A^\alpha \vec{e}_\alpha \text{ en la base } \{\vec{e}_\alpha\}, \\ \vec{A} &= A'^\mu \vec{e}'_\mu \text{ en la base } \{\vec{e}'_\mu\}\end{aligned}$$

de manera que  $A^\alpha \vec{e}_\alpha = A'^\mu \vec{e}'_\mu$ . Si  $A'^\mu = \Lambda^\mu_\alpha A^\alpha$ , entonces podemos escribir:

$$A^\alpha (\Lambda^\mu_\alpha \vec{e}'_\mu - \vec{e}_\alpha) = \vec{0}$$

ya que  $A^\alpha$  representan las componentes de un vector arbitrario, tenemos:

$$\vec{e}_\alpha = \Lambda^\mu_\alpha \vec{e}'_\mu \quad (44)$$

y también, si  $\Lambda$  es una matriz invertible:

$$\vec{e}'_\mu = (\Lambda^{-1})^\alpha_\mu \vec{e}_\alpha \quad (45)$$

Sea  $\{\vec{e}_\alpha\}$  la base ortogonal de vectores asociada con las coordenadas  $x^0 = ct$ ,  $x^1 = r$ ,  $x^2 = \theta$  y  $x^3 = \varphi$ . Introduzcamos una base ortonormal de vectores  $\{\vec{e}'_\mu\}$  definidos por:

$$\begin{pmatrix} \vec{e}'_0 \\ \vec{e}'_1 \\ \vec{e}'_2 \\ \vec{e}'_3 \end{pmatrix} = \Lambda^{-1} \begin{pmatrix} \vec{e}_0 \\ \vec{e}_1 \\ \vec{e}_2 \\ \vec{e}_3 \end{pmatrix} \quad (46)$$

donde

$$\Lambda = \Omega \begin{pmatrix} e^\Phi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (f(r))^{\frac{1}{2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \sin \theta \end{pmatrix}$$

Es fácil demostrar que

$$\begin{aligned}g'_{\alpha\beta} &\equiv \vec{e}'_\alpha \cdot \vec{e}'_\beta = \eta_{\alpha\beta} = \\ &\text{diagonal}(1, -1, -1, -1) \quad (47)\end{aligned}$$

Esta base nos permite introducir un nuevo sistema de coordenadas del marco de referencia propio "proper reference frame":

$$x'^\alpha = \Lambda^\alpha_\beta x^\beta \quad (48)$$

o:

$$x'^0 = \Omega e^\Phi x^0 \quad (48a)$$

$$x'^1 = \Omega \left(1 - kr^2 - \frac{b}{r}\right)^{-\frac{1}{2}} x^1 \quad (48b)$$

$$x'^2 = \Omega r x^2 \quad (48c)$$

$$x'^3 = \Omega r \sin \theta x^3 \quad (48d)$$

Estas son las coordenadas de un conjunto de observadores que siempre permanecen en reposo en el campo gravitacional del agujero de gusano. Es decir que tienen:

$$r, \theta \text{ y } \varphi \text{ constantes}$$

En esta nueva base, las componentes del tensor de Riemann-Christoffel se pueden calcular a partir de la relación:

$$R'^\mu_{\nu\rho\sigma} = \frac{\partial x^{\alpha_1}}{\partial x'^\nu} \frac{\partial x^{\alpha_2}}{\partial x'^\rho} \frac{\partial x^{\alpha_3}}{\partial x'^\sigma} \times \frac{\partial x'^\mu}{\partial x'^\beta} R^{\beta}_{\alpha_1\alpha_2\alpha_3} \quad (49)$$

El resultado es que las componentes no nulas son:

$$\begin{aligned}R'^0_{101} &= -R'^0_{110} = R'^1_{001} = -R'^1_{010} = \\ &\frac{1}{\Omega^2 c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) e^{-2\Phi} \\ &- \left( \Phi''(r) + (\Phi'(r))^2 \right) \Omega^{-2} \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \\ &+ \frac{1}{2\Omega^2} \Phi'(r) \left( 2kr + \left( \frac{rb'(r) - b(r)}{r^2} \right) \right) \quad (50)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R'^0_{202} &= -R'^0_{220} = R'^0_{303} = -R'^0_{330} = \\ &\frac{1}{\Omega^2 c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) e^{-2\Phi} \\ &- \frac{1}{r\Omega^2} \Phi'(r) \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \quad (51)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R'^2_{020} &= -R'^2_{002} = R'^3_{030} = -R'^3_{003} = \\ &- \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \right) e^{-2\Phi} \\ &+ \frac{1}{r\Omega^2} \Phi'(r) \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) \quad (52)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R'^0_{212} &= -R'^0_{221} = R'^2_{012} = -R'^2_{021} = \\ &- \frac{1}{\Omega^2 c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) e^{-\Phi} \Phi'(r) \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (53)\end{aligned}$$

$$R'_{313}{}^0 = -R'_{331}{}^0 = R'_{013}{}^3 = -R'_{031}{}^3 = -\frac{1}{\Omega^2 c} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right) e^{-\Phi} \Phi'(r) \left(1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (54)$$

$$R'_{212}{}^1 = -R'_{221}{}^1 = R'_{313}{}^1 = -R'_{331}{}^1 = \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right)^2 e^{-2\Phi} + \frac{1}{r^2 \Omega^2} \left(kr^2 + \frac{1}{2}b' - \frac{b(r)}{2r}\right) \quad (55)$$

$$R'_{112}{}^2 = -R'_{121}{}^2 = R'_{113}{}^3 = -R'_{131}{}^3 = -\frac{1}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right)^2 e^{-2\Phi} - \frac{1}{2\Omega^2 r} \left(2kr + \left(\frac{rb'(r) - b(r)}{r^2}\right)\right) \quad (56)$$

$$R'_{323}{}^2 = -R'_{332}{}^2 = R'_{232}{}^3 = -R'_{223}{}^3 = \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right)^2 e^{-2\Phi} + \frac{1}{\Omega^2} \left(k + \frac{b}{r^3}\right) \quad (57)$$

$$R'_{202}{}^1 = -R'_{220}{}^1 = R'_{303}{}^1 = -R'_{330}{}^1 = \frac{1}{\Omega^2 c} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right) e^{-\Phi} \Phi'(r) \left(1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (58)$$

$$R'_{102}{}^2 = -R'_{120}{}^2 = R'_{103}{}^3 = -R'_{130}{}^3 = -\frac{1}{\Omega^2 c} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right) e^{-\Phi} \Phi'(r) \left(1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (59)$$

#### 4 Tensor y escalar de Ricci

El tensor de Ricci se define por la expresión

$$R'_{\mu\nu} \equiv R'{}^{\alpha}{}_{\mu\alpha\nu} \quad (60)$$

Las componentes no nulas de dicho tensor son:

$$R'_{00} = -\frac{3}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} - \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right)^2\right) e^{-2\Phi} + \frac{(\Phi''(r) + (\Phi'(r))^2)}{\Omega^2} \left(1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}\right) + \frac{\Phi'(r)}{\Omega^2} \left(-3kr - \frac{b'}{2r} - \frac{3b}{2r^2} + \frac{2}{r}\right) \quad (61)$$

$$R'_{11} = \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} + \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right)^2\right) e^{-2\Phi} - \frac{(\Phi'' + (\Phi')^2)}{\Omega^2} \left(1 - kr^2 - \frac{b}{r}\right) + \frac{(\Phi' + \frac{2}{r})}{2\Omega^2} \left(2kr + \frac{(rb' - b)}{r^2}\right) \quad (62)$$

$$R'_{22} = R'_{33} = \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} + \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right)^2\right) e^{-2\Phi} - \frac{1}{r\Omega^2} \left(1 - kr^2 - \frac{b}{r}\right) \Phi' + \frac{1}{\Omega^2} \left(2k + \frac{b'}{2r^2} + \frac{b}{2r^3}\right) \quad (63)$$

$$R'_{01} = R'_{10} = \frac{2}{\Omega^2 c} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right) e^{-\Phi} \times \Phi'(r) \left(1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (64)$$

El escalar de Ricci es:

$$R' = g'^{\mu\nu} R'_{\mu\nu} = R'_{00} - R'_{11} - R'_{22} - R'_{33} \quad (65)$$

Introduciendo las ecuaciones (61)-(63) en (65) tenemos:

$$R' = -\frac{6}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\ddot{\Omega}}{\Omega}\right) e^{-2\Phi} + \frac{2}{\Omega^2} (\Phi'' + (\Phi')^2) \left(1 - kr^2 - \frac{b}{r}\right) + \frac{\Phi'}{\Omega^2} \left(-6kr - \frac{b'}{r} - \frac{3b}{r^2} + \frac{4}{r}\right) + \frac{1}{\Omega^2} \left(-6k - \frac{2b'}{r^2}\right) \quad (66)$$

#### 5 Tensor de Einstein

Las componentes no nulas del tensor de Einstein [3, 4, 5, 6]

$$G'_{\mu\nu} = R'_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R' g'_{\mu\nu}$$

son:

$$G'_{00} = \frac{3}{\Omega^2 c^2} \left(\frac{\dot{\Omega}}{\Omega}\right)^2 e^{-2\Phi} + \frac{1}{\Omega^2} \left(3k + \frac{b'}{r^2}\right) \quad (67)$$

$$G'_{11} = \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left( \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - 2 \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) e^{-2\Phi} + \frac{2\Phi'}{\Omega^2} \left( -kr - \frac{b}{r^2} + \frac{1}{r} \right) + \frac{1}{\Omega^2} \left( -k - \frac{b}{r^3} \right) \quad (68)$$

$$G'_{01} = G'_{10} = \frac{2}{\Omega^2 c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) e^{-\Phi} \times \Phi'(r) \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (69)$$

$$G'_{22} = G'_{33} = \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left( \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - 2 \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) e^{-2\Phi} + \frac{(\Phi''(r) + (\Phi'(r))^2)}{\Omega^2} \left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right) + \frac{\Phi'(r)}{\Omega^2} \left( -2kr - \frac{b}{2r^2} - \frac{b'}{2r} + \frac{1}{r} \right) + \frac{1}{\Omega^2} \left( -k + \frac{b}{2r^3} - \frac{b'}{2r^2} \right) \quad (70)$$

## 6 Ecuaciones de Campo de Einstein y tensor energía-momentum

Las ecuaciones de campo de Einstein se pueden escribir: [3, 4, 5, 6]

$$G'_{\mu\nu} - \lambda g'_{\mu\nu} = k^* T'_{\mu\nu} \quad (71)$$

donde  $k^* = \frac{8\pi G}{c^4}$  y  $\lambda$  es la constante cosmológica introducida por Einstein en el año 1917. La constante cosmológica es una medida de la contribución a la densidad de energía del universo debido a fluctuaciones del vacío. Originalmente, Einstein la introdujo para evitar la expansión del universo, ya que él creía en un universo estático. Su valor es  $|\lambda| < 3 \times 10^{-52} \text{metros}^{-2}$ .

El inverso de la raíz cuadrada del valor absoluto de la constante cosmológica  $\left( \frac{1}{\sqrt{|\lambda|}} \right)$  mide la escala de distancia en la cual la geometría del espacio-tiempo es afectada por fluctuaciones del vacío; su valor coincide con el tamaño del universo visible:  $10^{26}$  metros [6].

El tensor de energía-momentum  $T'_{\mu\nu}$  debe tener la misma estructura algebraica que la diferencia entre el tensor de Einstein  $G'_{\mu\nu}$  y el producto de la constante cosmológica por el tensor métrico  $\lambda g'_{\mu\nu}$ . De manera que las únicas componentes no nulas de  $T'_{\mu\nu}$  son  $T'_{00}$ ,  $T'_{01} = T'_{10}$ ,  $T'_{11}$  y  $T'_{22} = T'_{33}$ , donde:

$$T'_{00} = \rho(r, t) c^2 \quad (72)$$

$$T'_{01} = T'_{10} = -h(r, t) \quad (73)$$

$$T'_{11} = -\tau(r, t) \quad (74)$$

$$T'_{22} = T'_{33} = P(r, t) \quad (75)$$

Donde  $\rho(r, t)$  es la densidad total de masa-energía (en  $\frac{kg}{m^3}$ ) medida por un observador estático en el campo gravitacional del agujero de gusano,  $h(r, t)$  es el flujo de energía en la dirección radial hacia afuera,  $\tau(r, t)$  es la tensión por unidad de área medida por dichos observadores en la dirección radial, y  $P(r, t)$  es la presión medida en las direcciones laterales (ortogonales a la dirección radial). En un fluido perfecto  $P(r, t) = -\tau(r, t)$ .

A partir de (71) podemos escribir:

$$G'_{00} - \lambda = k^* T'_{00}$$

usando las ecuaciones (67) y (72), podemos demostrar que:

$$\rho(r, t) c^2 = \frac{3}{k^* \Omega^2 c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 e^{-2\Phi} + \frac{1}{k^* \Omega^2} \left( 3k + \frac{b'}{r^2} \right) - \frac{\lambda}{k^*} \quad (76)$$

La ecuación (71) para  $\mu = \nu = 1$  da:

$$\tau(r, t) = -\frac{1}{k^* \Omega^2 c^2} \left( \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - 2 \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) e^{-2\Phi} - 2 \frac{\Phi'(r)}{k^* \Omega^2} \left( -kr - \frac{b}{r^2} + \frac{1}{r} \right) - \frac{1}{k^*} \left[ \frac{1}{\Omega^2} \left( -k - \frac{b}{r^3} \right) + \lambda \right] \quad (77)$$

La ecuación (71) para  $\mu = \nu = 2$  da:

$$P(r, t) = \frac{1}{k^* \Omega^2 c^2} \left( \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - 2 \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) e^{-2\Phi} + \frac{1}{k^* \Omega^2} (\Phi'' + (\Phi')^2) \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right) + \frac{\Phi'}{k^* \Omega^2} \left( -2kr - \frac{b}{2r^2} - \frac{b'}{2r} + \frac{1}{r} \right) + \frac{1}{k^*} \left[ \frac{1}{\Omega^2} \left( -k + \frac{b}{2r^3} - \frac{b'}{2r^2} \right) + \lambda \right] \quad (78)$$

Para  $\mu = 0, \nu = 1$  la ecuación (71) implica que

$$G'_{01} = -k^* h(r, t)$$

de donde tenemos:

$$h(r, t) = -\frac{2}{k^* \Omega^2 c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) e^{-\Phi} \Phi' \times \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (79)$$

### 7 Superficies de inserción (embedding surfaces)

Para un tiempo fijo  $t$  y tomando  $\theta = \pi/2$  (plano ecuatorial) además de  $\Omega = 1$ , la parte espacial de la métrica (2) se puede escribir:

$$(ds')^2 = -(ds)^2 = f(r) (dr)^2 + r^2 (d\varphi)^2 \quad (80)$$

que representa un elemento de arco en el plano ecuatorial. Deseamos construir en el espacio Euclideo tridimensional, una superficie bidimensional que tenga la misma geometría que la del elemento de arco descrito por (80). Entonces, uno podría encajar la geometría del espacio curvo bidimensional en la geometría plana de un espacio Euclideo tridimensional [12]. En dicho espacio Euclideo, introduciremos coordenadas cilíndricas  $z, r$  y  $\varphi$ . La métrica Euclidea del espacio de inserción (embedding space) es:

$$(ds_{Euclidean})^2 = \left( 1 + \left( \frac{dz}{dr} \right)^2 \right) (dr)^2 + r^2 (d\varphi)^2 \quad (81)$$

En (81), nosotros suponemos que  $z = z(r)$  (consideramos que la superficie insertada tiene simetría axial).

Si nosotros identificamos las coordenadas  $(r, \varphi)$  del espacio Euclideo con las coordenadas  $(r, \varphi)$  del espacio-tiempo del agujero de gusano, el elemento de arco (81) será el mismo que el descrito por la ecuación (80) a través del wormhole. Podemos entonces escribir:

$$f(r) = \frac{1}{\left( 1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} \right)} = 1 + \left( \frac{dz}{dr} \right)^2 \quad (82)$$

de donde obtenemos:

$$\left( \frac{dz}{dr} \right) = \pm \left( \frac{kr^2 + \frac{b(r)}{r}}{1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (83)$$

La ecuación (83) describe la forma en la que la función  $b(r)$  modela la geometría espacial del agujero de gusano.

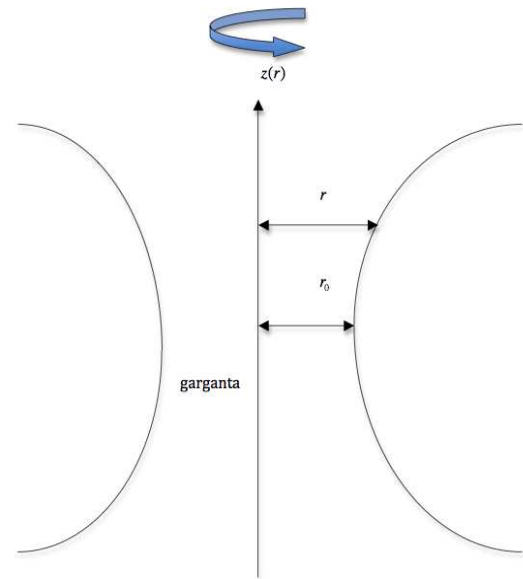


Figura 2: Diagrama de inserción para un agujero de gusano. En la garganta se cumple  $r = r_0$ . Para generar el agujero de gusano, se debe rotar la curva de la figura alrededor del eje  $z$ .

Si  $1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r} = 0$  para algún  $r = r_0$ , entonces

$$\left( \frac{dz}{dr} \right) \Big|_{r=r_0} = \pm \infty \quad (84)$$

Todo agujero de gusano tiene un radio mínimo  $r = r_0$  para el cual la superficie insertada del espacio curvo bidimensional es vertical. Dicho radio define la garganta del agujero de gusano. Si  $k = 0, b(r_0) = r_0 = b_0$  [8].

### 8 Parámetro de corrimiento hacia el rojo

Consideremos una fuente en el agujero de gusano que emite pulsos de luz de energía  $E'$ . Para un observador distante (muy alejado del campo gravitacional del agujero), la energía que recibe de los pulsos de luz ( $E$ ) será:

$$E = (g_{00})^{1/2} E' \quad (85)$$

donde  $E = hc/\lambda_{recibida}$  y  $E' = hc/\lambda_{emitida}$  ( $\lambda_{emitida}$  y  $\lambda_{recibida}$  son las longitudes de onda de las señales emitida y recibida, respectivamente).

El parámetro de corrimiento hacia el rojo se define a través de la relación:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda_{recibida} - \lambda_{emitida}}{\lambda_{emitida}} = \frac{\lambda_{recibida}}{\lambda_{emitida}} - 1 \quad (86)$$

Usando la ecuación (85), tenemos:

$$z = \Omega^{-1} e^{-\Phi} - 1 \quad (87)$$

Por esta razón, la función  $\Phi(r)$  se denomina función de corrimiento hacia el rojo gravitacional.

## 9 Condición de exotividad

La función de exotividad  $\varsigma$  puede ser escrita como [8]:

$$\varsigma \equiv -\frac{T'_{\mu\nu}k'^{\mu}k'^{\nu}}{|T'_{00}|} \quad (88)$$

donde  $k'^{\mu} = (1, \pm 1, 0, 0)$  representa un vector nulo radial (null vector) saliente o entrante, respectivamente.

$$\begin{aligned} T'_{\mu\nu}k'^{\mu}k'^{\nu} &= T'_{00} \pm 2T'_{01} + T'_{11} \\ &= \frac{1}{k^*} [G'_{00} \pm 2G'_{01} + G'_{11}] \quad (89) \end{aligned}$$

$T'_{00}$  está dado por las ecuaciones (72) y (76). Reemplazando estas expresiones en (88) obtenemos:

$$\begin{aligned} \varsigma = - & \left( \frac{1}{| \frac{3e^{-2\Phi}}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 + 3k + \frac{b'}{r^2} - \lambda\Omega^2 |} \right) \\ & \times \left( \frac{1}{c^2} e^{-2\Phi} \left[ 4 \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - 2 \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right] \right. \\ & + \Phi' \left[ \pm \frac{4}{c} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right) e^{-\Phi} \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right)^{\frac{1}{2}} \right. \\ & \quad \left. + 2 \left( -kr - \frac{b}{r^2} + \frac{1}{r} \right) \right] \\ & \left. + \left( 2k + \frac{b'}{r^2} - \frac{b}{r^3} \right) \right) \quad (90) \end{aligned}$$

Para  $\Omega = 1$ ,  $\lambda = 0$ , esta ecuación se reduce a:

$$\begin{aligned} \varsigma = - & \left[ \frac{1}{|3k + \frac{b'}{r^2}|} \right] \\ & \times \left( 2\Phi' \left( -kr - \frac{b}{r^2} + \frac{1}{r} \right) \right. \\ & \left. + \left( 2k + \frac{b'}{r^2} - \frac{b}{r^3} \right) \right) \quad (91) \end{aligned}$$

Finalmente, si  $k = 0$  obtenemos:

$$\varsigma = \left( \frac{1}{|b'|} \right) \left[ \frac{b}{r} - 2(r-b)\Phi' - b' \right] \quad (92)$$

que es la expresión que aparece en la referencia [8] (ecuación (139)).

## 10 Traza del tensor energía-cantidad de movimiento

La traza del tensor energía cantidad de movimiento es

$$\begin{aligned} T' &= T'^{\mu}_{\mu} = g'^{\mu\nu}T'_{\mu\nu} \\ &= T'_{00} - T'_{11} - T'_{22} - T'_{33} \quad (93) \end{aligned}$$

que se puede escribir como:

$$\begin{aligned} T' &= \frac{2}{k^*\Omega^2} \left( \frac{3e^{-2\Phi}}{c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right. \\ & \quad \left. - \Phi' \left( -3kr - \frac{3b}{2r^2} - \frac{b'}{2r} + \frac{2}{r} \right) \right. \\ & \quad \left. - \left( \Phi'' + (\Phi')^2 \right) \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right) \right. \\ & \quad \left. + \left( 3k + \frac{b'}{r^2} \right) \right) - \frac{4\lambda}{k^*} \quad (94) \end{aligned}$$

## 11 Solución analítica para un agujero de gusano del tipo Morris-Thorne que evoluciona en un background cosmológico

Asumiendo que la traza del tensor energía-cantidad de movimiento es una función en variables separables de  $t$  y  $r$  y tomando  $\lambda = 0$

$$T' = \frac{S^*(t)}{\Omega^2(t)} e^{-2\Phi} \quad (95)$$

( $x := y \Rightarrow x = y$  en  $I^+$ ;  $\hat{M} = MUI^+$ .  $I^+$  es la frontera del espacio tiempo extendido  $\hat{M}$  y representa puntos en el infinito sobre el cono de luz futuro nulo (null cone)) [10].

de manera que:

$$\frac{G}{k^*c^2} \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) - S^*(t) = c \quad (96)$$

y

$$\begin{aligned} \frac{2}{k^*} e^{2\Phi} \left( \Phi' \left( -3kr - \frac{3b}{2r^2} - \frac{b'}{2r} + \frac{2}{r} \right) \right. \\ \left. + \left( \Phi'' + (\Phi')^2 \right) \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right) \right. \\ \left. - \left( 3k + \frac{b'}{r^2} \right) \right) = c^* \quad (97) \end{aligned}$$

donde  $c^*$  es una constante (un tratamiento similar se puede encontrar en la referencia [13]). Si tomamos  $\Phi = -\frac{\alpha}{r}$  (elección que garantiza que la función de corrimiento hacia el rojo sea finita en cualquier lugar, y consecuentemente no exista horizonte de eventos) donde  $\alpha$  es una constante, entonces

$$z = \Omega^{-1} e^{-\Phi} - 1 = \Omega^{-1} e^{\frac{\alpha}{r}} - 1. \quad (98)$$

Sustituyendo la expresión de  $\Phi$  en (97) con  $c^* = 0$ , obtenemos la ecuación diferencial de primer orden no homogénea

$$\begin{aligned} b' \left( \frac{\alpha}{2r^3} + \frac{1}{r^2} \right) + b \left( -\frac{\alpha}{2r^4} + \frac{\alpha^2}{r^5} \right) \\ + \frac{\alpha k}{r} - \frac{\alpha^2}{r^4} + \frac{\alpha^2 k}{r^2} + 3k = 0 \quad (99) \end{aligned}$$

La solución de la ecuación homogénea

$$b' \left( \frac{\alpha}{2r^3} + \frac{1}{r^2} \right) + b \left( -\frac{\alpha}{2r^4} + \frac{\alpha^2}{r^5} \right) = 0 \quad (100)$$

es:

$$b_1(r) = \left( \frac{r}{\alpha + 2r} \right)^5 C_1^* e^{\frac{2\alpha}{r}} \quad (101)$$

donde  $C_1^*$  es una constante. Si buscamos una solución particular de la ecuación no homogénea de la forma  $U_1(r)b_1(r)$  obtenemos:

$$U_1(r) = \frac{2}{C_1^*} \int dr e^{-\frac{2\alpha}{r}} (\alpha + 2r)^4 \times \frac{(-\alpha kr^3 + \alpha^2 - \alpha^2 kr^2 - 3kr^4)}{r^6} \quad (102)$$

de manera que la solución general de la ecuación homogénea es de la forma  $b(r) = b_1(r) + U_1(r)b_1(r)$ , es decir:

$$b(r) = C_1^* \left( \frac{r}{\alpha + 2r} \right)^5 e^{\frac{2\alpha}{r}} + 2 \left( \frac{r}{\alpha + 2r} \right)^5 \times e^{\frac{2\alpha}{r}} \int dr e^{-\frac{2\alpha}{r}} (\alpha + 2r)^4 \times \frac{(-\alpha kr^3 + \alpha^2 - \alpha^2 kr^2 - 3kr^4)}{r^6} \quad (103)$$

Si  $\alpha = 0$  ( $\Phi = 0$ ) obtenemos

$$b(r) = -kr^3 + b_0 + kr_0^3 \quad (104)$$

donde  $b(r = r_0) = b_0$  en la garganta del agujero de gusano.

Con la anterior función de forma la densidad total, la tensión por unidad de área, la presión y el flujo de energía (ecuaciones 76-79) se escriben:

$$\rho(r, t)c^2 = \frac{3}{k^*\Omega^2 c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \quad (105)$$

$$\tau(r, t) = -\frac{1}{k^*} \left( \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left( \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - 2 \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) - \frac{1}{\Omega^2} \left( \frac{b_0}{r^3} + k \left( \frac{r_0}{r} \right)^3 \right) \right) \quad (106)$$

$$P(r, t) = \frac{1}{k^*} \left( \frac{1}{\Omega^2 c^2} \left( \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - 2 \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) + \frac{1}{2\Omega^2} \left( \frac{b_0}{r^3} + k \left( \frac{r_0}{r} \right)^3 \right) \right) \quad (107)$$

$$h(r, t) = 0 \quad (108)$$

La última relación nos dice que para la función de forma descrita por la ecuación (104) no existe flujo de energía hacia afuera en la dirección radial.

## 12 Condiciones de energía débil: "weak energy conditions"

Las condiciones de energía débil son ( ver [8, 14])

$\rho \geq 0$ ,  $\rho c^2 - \tau \geq 0$  y  $\rho c^2 + P \geq 0$ . La primera condición  $\rho \geq 0$  implica que:

$$\frac{b'}{r^2} \geq \lambda \Omega^2 - \frac{3}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 e^{-2\Phi} - 3k. \quad (109)$$

De la segunda condición ( $\rho c^2 - \tau \geq 0$ ) obtenemos:

$$\frac{1}{c^2} \left( 2 \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) \geq e^{2\Phi} \times \left( -k + \frac{b - b'r}{2r^3} - \Phi' \left( -kr - \frac{b}{r^2} + \frac{1}{r} \right) \right) \quad (110)$$

Por último, la condición  $\rho c^2 + P \geq 0$  implica que:

$$\frac{2}{c^2} \left( 2 \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) \geq e^{2\Phi} \left( -2k - \frac{b + b'r}{2r^3} \right) - e^{2\Phi} \left( \Phi'' + (\Phi')^2 \right) \left( 1 - kr^2 - \frac{b}{r} \right) - e^{2\Phi} \Phi' \left( -2kr - \frac{b}{2r^2} - \frac{b'}{2r} + \frac{1}{r} \right) \quad (111)$$

Para  $\Phi = 0$  en un universo plano ( $k = 0$ ) y despreciando el valor de la constante cosmológica  $\lambda$ , las condiciones anteriores se reducen a:

$$\frac{b'}{r^2} \geq -\frac{3}{c^2} \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 \quad (112)$$

$$\frac{1}{c^2} \left( 2 \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) \geq \frac{(b - b'r)}{2r^3} \quad (113)$$

$$\frac{2}{c^2} \left( 2 \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \right) \geq -\frac{(b + b'r)}{2r^3} \quad (114)$$

En la garganta del agujero de gusano (suponiendo  $k = 0$ ), el denominado término "flare out"(ver sección 14 de la referencia [8]) es:

$$\frac{d^2 r}{dz^2} \Big|_{r=b=b_0} = \frac{b - rb'}{2b^2} > 0 \quad (115)$$

Definiendo:

$$S(t) \equiv 2 \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \quad (116)$$

la ecuación (113) implica que

$$S(t) \geq c^2 \left( \frac{b - rb'}{2b^2} \right) \left( \frac{b^2}{r^3} \right) \quad (117)$$

de manera que la condición (115) nos da:

$$S(t) \geq 0. \quad (118)$$

La anterior desigualdad nos dice que los valores de  $\Omega$  están restringidos. En general, es posible demostrar que la ecuación (117) no puede ser satisfecha en todo el dominio temporal debido a que  $\Omega$  es una función positiva y acotada. Esto significa que aunque los agujeros de gusano pueden ser creados sin la presencia de materia exótica, su tiempo de vida es finito ya que  $S(t)$  tarde o temprano llegará a ser negativo. Para la función

$$\Omega(t) = \cos t + 3 \quad (119)$$

que es estrictamente positiva y acotada tenemos:

$$S(t) = \frac{1 + 3 \cos t + \sin^2 t}{(3 + \cos t)^2} \quad (120)$$

Esta función experimenta cambios de signo dependiendo del valor de la coordenada temporal  $t$ , lo cual indica que las condiciones de energía son violadas por algunos períodos de tiempo cuando  $S(t) < 0$  (ver figura 3).

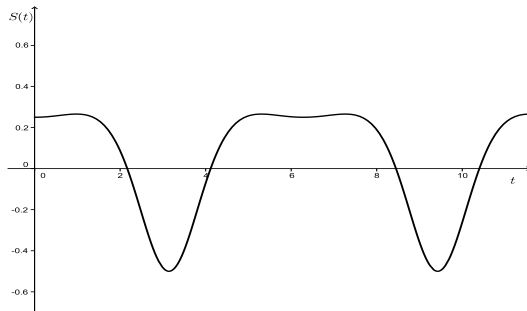


Figura 3: Función  $S(t)$

### 13 El parámetro de aceleración y $\Omega$

La métrica de Friedmann-Robertson-Walker es

$$(ds)^2 = c^2 (dt)^2 - R^2(t) \left[ \frac{(dr)^2}{1 - kr^2} + r^2 (d\Omega^*)^2 \right] \quad (121)$$

donde  $(d\Omega^*)^2 = (d\theta)^2 + \sin^2 \theta (d\varphi)^2$ ,  $R(t)$  es el factor de escala del universo y  $k$  es un parámetro independiente del tiempo que especifica la curvatura del universo y

que puede ser  $k = +1$  para un universo cerrado,  $k = 0$  para un universo plano o  $k = -1$  en un universo abierto. Si consideramos agujeros de gusano conformes (conformal wormholes) inmersos en un universo en expansión en el que el factor de escala es  $\Omega(t)$ , y si  $\Phi(r) \rightarrow 0$ , entonces la métrica se puede escribir:

$$(ds)^2 = \Omega^2(t) (c^2 (dt)^2 - \frac{1}{1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}} (dr)^2 - r^2 (d\Omega^*)^2) \quad (122)$$

El tiempo conforme  $t$  está relacionado con el tiempo comovil  $T$  a través de la relación

$$dT = \Omega dt \quad (123)$$

Entonces, podemos escribir

$$(ds)^2 = c^2 (dT)^2 - \Omega^2 \left( \frac{1}{1 - kr^2 - \frac{b(r)}{r}} (dr)^2 + r^2 (d\Omega^*)^2 \right) \quad (124)$$

La constante de Hubble puede expresarse como el cociente entre la derivada con respecto al tiempo comovil del factor de escala y dicho factor de escala [15, 16]

$$H = \frac{1}{\Omega} \left( \frac{d\Omega}{dT} \right) = \frac{1}{\Omega} \left( \frac{d\Omega}{dt} \right) \left( \frac{dt}{dT} \right) = \frac{1}{\Omega^2} \dot{\Omega}(t) \quad (125)$$

El parámetro de aceleración se define como:

$$q = - \frac{\Omega \left( \frac{d^2 \Omega}{dT^2} \right)}{\left( \frac{d\Omega}{dT} \right)^2} \quad (126)$$

que también se puede escribir

$$q = 1 - \frac{\ddot{\Omega} \Omega}{(\dot{\Omega})^2} \quad (127)$$

donde  $\dot{\Omega} = \frac{d\Omega}{dT}$ . Fácilmente podemos demostrar que

$$H^2 \Omega^2 (1 + q) = 2 \left( \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} \right)^2 - \left( \frac{\ddot{\Omega}}{\Omega} \right) \quad (128)$$

Comparando al anterior ecuación con (116) vemos que:

$$S(t) = H^2 \Omega^2 (1 + q), \quad (129)$$

de manera que  $S(t) \geq 0$  si  $1 + q \geq 0$  o si  $q \geq -1$ . En palabras, la función  $S(t)$  es positiva si el parámetro de aceleración es mayor o igual a menos uno.



## Conclusiones

Una de las más fascinantes predicciones de la Teoría General de la Relatividad (TGR) de Einstein es la posible existencia de túneles en el hiperespacio conectando dos regiones asintóticamente planas en el espacio-tiempo (agujeros de gusano). La mayoría de las predicciones de la TGR han sido verificadas experimentalmente o mediante observaciones astronómicas. Por dicha razón, no sería difícil que en algún momento, en un futuro (aunque probablemente lejano), se verifique también la existencia de dichos agujeros de gusano.

En este artículo, en primer lugar, hemos calculado partiendo de las ecuaciones de campo de Einstein las componentes del tensor energía-momento para un agujero de gusano del tipo Morris-Thorne inmerso en un background cosmológico. A partir de dichas expresiones hemos obtenido las de la densidad total de masa-energía  $\rho(r, t)$  medida por un observador estático en el campo gravitacional del agujero de gusano, el flujo de energía en la dirección radial hacia afuera  $h(r, t)$ , la tensión por unidad de área medida por dichos observadores en la dirección radial  $\tau(r, t)$ , y la presión medida en las direcciones laterales (ortogonales a la dirección radial)  $P(r, t)$ . También hemos analizado las superficies de inserción (embedding surfaces) para dichos agujeros y hemos calculado la expresión del parámetro de corrimiento hacia el rojo en términos del factor conforme  $\Omega$ . Posteriormente, hemos calculado la expresión matemática de la función de exotividad  $\varsigma$ . Dicha expresión se reduce para  $\Omega = 1$ ,  $\lambda = 0$  y  $k = 0$  a la obtenida en la referencia [8], ecuación (139).

Partiendo de la traza del tensor energía-cantidad de movimiento hemos obtenido una solución analítica para la función de forma de un agujero de gusano del tipo Morris-Thorne en un background cosmológico (tomando  $\lambda = 0$ ). En el caso particular en que la función de corrimiento hacia el rojo  $\Phi = 0$  hemos calculado también las expresiones correspondientes de  $\rho(r, t)$ ,  $\tau(r, t)$ ,  $P(r, t)$  y  $h(r, t)$ . En dicho caso, obtuvimos  $h(r, t) = 0$ , de manera que no hay flujo de energía en la dirección radial (hacia afuera).

Al estudiar las condiciones de energía débil para un universo plano ( $k = 0$ ) sin constante cosmológica ( $\lambda = 0$ ) y tomando  $\Phi = 0$ , hemos introducido una función  $S(t)$  (ver sección (12)) mediante la cual hemos podido demostrar que los valores del factor de forma  $\Omega$  están restringidos en el dominio temporal. Esto implica que los agujeros de gusano pueden ser creados sin la presencia de materia exótica, y que su tiempo de vida es finito ya que dicha función  $S(t)$ , tarde o temprano, llegará a ser negativa. Tomando, por ejemplo,  $\Omega(t) = \cos t + 3$  que es una función estrictamente positiva y acotada hemos visto que las condiciones de energía débil son violadas por algunos períodos de tiempo cuando  $S(t) < 0$ .

Finalmente, hemos deducido una expresión que nos da el parámetro de aceleración del universo en función del

factor conforme  $\Omega$  (en el caso de que la función de corrimiento hacia el rojo sea igual a cero), así como una ecuación que relaciona la mencionada función  $S(t)$  con el parámetro de aceleración y el parámetro de Hubble. A partir de la última relación mencionada, hemos podido demostrar que la función  $S(t)$  es positiva siempre que el parámetro de aceleración sea mayor o igual a -1.

## Referencias

- [1] Thorne, K.S. 1994. "Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy." W. W. Norton & Company: New York, NY.
- [2] Kaku, M. 1994. "Hyperspace." Oxford University Press, Inc: New York, NY.
- [3] Kenyon, I. R. 1996. "General Relativity." Oxford University Press: Oxford, UK.
- [4] Schutz, B. F. 2005. "A first course in general relativity." Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- [5] Marín, C. 2009. "Cayendo hacia un agujero negro de Schwarzschild." *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 1(1): 79-90.
- [6] Marín, C. 2007. "La Expansión del Universo, Una Introducción a Cosmología, Relatividad General y Física de Partículas." Universidad San Francisco de Quito: Quito, Ecuador.
- [7] Morris, M. S.; Thorne, K. S. 1988. "Wormholes in spacetime and their use for interstellar travel: A tool for teaching general relativity." *Am J. Phys.* 56(5): 395-412.
- [8] Marín, C. 2010. "Agujeros de gusano: solución exponencial." *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 2(2): A36-A54.
- [9] Marín, C. 2011. "Agujeros de gusano y potenciales efectivos." *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 3(1): A13-A23.
- [10] Ludvigsen, M. 1999. "General Relativity a Geometric Approach." Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- [11] Turner, M. ; Kolb E. 1990. "The Early Universe." Addison Wesley: Redwood City, MS.
- [12] Misner, C. W.; Thorne, K.S.; Wheeler, J. A. 1973. "Gravitation." W. H. Freeman & Company: New York, NY.
- [13] Anchordoqui, L. ; Torres, D. ; Trobo, M. ; Perez, S. 1998. "Evolving wormhole geometries." *Phys. Rev. D*. 57: 829-833.
- [14] Lobo, F. S. 2005. "Energy conditions, Traversable wormholes and dust shells." *Gen. Rel. Grav.* 37: 2023-2038.
- [15] Hochberg, D. ; Visser, M. 1997. "Geometric structure of the generic static traversable wormhole throat." *Phys. Rev. D*. 56: 4745-4755.
- [16] Peacock, J. A. 2002. "Cosmological Physics." Cambridge University Press: Cambridge, UK.



Archivos Académicos  
— USFQ —

SIMPOSIO INTERNACIONAL

# Pastos y Forrajes

DE CLIMA TEMPLADO



**Archivos Académicos USFQ**

Numero 16

**Memorias del Simposio Internacional de Pastos y Forrajes de Clima  
Templado 2018**

**Comité Editorial:**

Gabriela Albán<sup>1</sup>, Mario Caviedes<sup>1</sup>, Christian Ponce<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías,  
Departamento de Ingeniería en Agronomía, Quito, Ecuador; <sup>2</sup>Universidad San Francisco  
de Quito USFQ, Colegio de Ciencias de la Salud, Escuela de Medicina Veterinaria,  
Quito, Ecuador.

**Editorial USFQ Press**

Noviembre 2018, Quito, Ecuador

Catalogación en la fuente: Biblioteca de la Universidad San Francisco de Quito USFQ,  
Ecuador.

Esta obra es publicada bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).



Citación recomendada de toda la obra: Alban et al. (2018) Memorias del Simposio  
Internacional de Pastos y Forrajes de Clima Templado 2018. Archivos Académicos  
USFQ 16: 1–49.

## **Archivos Académicos USFQ**

**ISSN:** 2528-7753

**Editor de la Serie:** Diego F. Cisneros-Heredia

*Archivos Académicos USFQ* es una serie monográfica multidisciplinaria dedicada a la publicación de actas y memorias de reuniones y eventos académicos. Cada número de *Archivos Académicos USFQ* es procesado por su propio comité editorial, en coordinación con el editor de la serie. La periodicidad de la serie es ocasional y es publicada por USFQ PRESS, departamento editorial de la Universidad San Francisco de Quito.

Más información sobre la serie monográfica Archivos Académicos USFQ:

<http://archivosacademicos.usfq.edu.ec>

Contacto:

Universidad San Francisco de Quito, USFQ

Att. Diego F. Cisneros-Heredia | Archivos Académicos USFQ

Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica

Casilla Postal: 17-1200-841

Quito 170901, Ecuador

El uso de nombres descriptivos generales, nombres comerciales, marcas registradas, etc. en esta publicación no implica, incluso en ausencia de una declaración específica, que estos nombres están exentos de las leyes y reglamentos de protección pertinentes y, por tanto, libres para su uso general.

La información presentada en este libro es de entera responsabilidad de sus autores. La Editorial y los editores presumen que la información es verdadera y exacta a la fecha de publicación. Ni la Editorial, ni los editores, ni los autores dan una garantía, expresa o implícita, con respecto a los materiales contenidos en este documento ni de los errores u omisiones que se hayan podido realizar.

# Memorias del Simposio Internacional de Pastos y Forrajes de Clima Templado 2018

Gabriela Albán, Mario Caviedes, Christian Ponce  
Editores



**Instituciones Organizadoras:**

Departamento de Ingeniería en Agronomía USFQ

Escuela de Medicina Veterinaria USFQ

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP



**Con el gentil apoyo de:**

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-Ecuador

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA Ecuador



Apreciamos el aporte valioso de nuestros auspiciantes para:  
**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE PASTOS Y FORRAJES DE  
CLIMA TEMPLADO 2018**

**PLATA**

ECUAQUIMICA

EL AGRO

**BRONZE**

AGROSAD

ASPROAGRO

PRONACA



## Tabla de Contenidos

Prologo.....	7
HOJAS DE VIDA DE EXPOSITORES .....	1
RESUMENES DE PONENCIAS .....	9
SECCION 1: NUTRICION Y FISIOLOGIA DE PASTOS TEMPLADOS .....	9
SECCION 2: COSTOS DE PRODUCCION E IMPACTO AMBIENTAL.....	18
SECCION 3: VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJES .....	24
SECCION 4: MANEJO DEL PASTOREO.....	32
RESUMENES DIA DE CAMPO .....	38

## Prologo

El ganado vacuno es el más importante del sector agropecuario ecuatoriano con 5.134 miles de cabezas a cada una de esas cabezas de ganado vacuno le correspondió una superficie 0.94 hectáreas de la superficie total de pastos naturales y cultivados (INEC 2013).

Los alimentos más comunes para el ganado son de dos tipos: Forrajes y concentrados. Los Forrajes están constituidos por tallos, hojas y flores de las plantas de diferentes especies forrajeras como la avena, la cebada, la alfalfa, vicia, trébol, raygrass, pasto azul entre otros. Estos forrajes pueden ser consumidos por los animales en estado verde, heno y ensilaje; cuando las plantas forrajeras han llegado a su madurez, la cantidad de fibra tiende a aumentar y su valor nutritivo a disminuir, por eso se debe cosechar los cereales que sirven para forraje en un estado lechoso, y las leguminosas cuando han empezado a florecer en un 10%.

Otro de los tipos de alimentos que consumen los animales son los concentrados y subproductos industriales; se conocen como concentrados a grano y a frutos de origen vegetal con muy poca fibra y con sustancias nutritivas altamente digestivas. Los sub productos industriales son los sobrantes del proceso de industrialización comercial que no son aptos para el consumo humano como la harina de plumas, el afrecho de trigo, y la torta de soya entre otros.

En este contexto, el I Simposio Internacional en Pastos y Forrajes de Clima Templado cuenta con el aporte de los más importantes investigadores, empresarios y productores agropecuarios del país, lo que permite la presentación de gran diversidad de temas en las áreas: Nutrición y Fisiología de pastos de clima templado, Costos de producción, Manejo de Pastoreo y conservación y Valor nutricional de los forrajes. Así mismo se incluye en su agenda el día de campo que `presenta las nuevas alternativas tecnológicas desarrolladas en el componente semilla de pastos y forrajes para el país.

El importante evento científico se organizó con la activa participación de las siguientes instituciones nacionales e internacionales: Organización de las Naciones Unidas para a Alimentación y la Agricultura (FAO); Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP); Universidad San Francisco de Quito (USFQ); las empresas privadas Ecu química, Pronaca, Agrosad, El Agro, Asproagro. El significativo aporte de las instituciones públicas y privada permitió la realización del evento. Esta memoria refleja el valioso aporte científico de los investigadores de las diferentes instituciones del país y el exterior.

A nombre del Comité Organizador se agradece a todas las Instituciones Nacionales e Internacionales involucradas en la organización, auspicio y apoyo al evento. Así como, a los expositores y asistentes por su contribución al éxito alcanzado en este importante evento científico internacional.

**Comité Organizador**

## HOJAS DE VIDA DE EXPOSITORES

### MIGUEL S. CASTILLO



Profesor, Universidad Estatal de North Carolina – NCSU, USA  
Ing. Agrónomo de la Escuela Agrícola Panamericana – EAP, Zamorano, Honduras, C.A.; con estudios de post-grado en Agronomía (M.S. y Ph.D.) en la Universidad de Florida – UF, FL, USA, y Administración (MBA) en la Universidad Estatal de Carolina del Norte – NCSU, NC, USA. En la actualidad es profesor del Programa de Manejo de Pasturas y Forrajes del Departamento de Plantas y Suelos de NCSU. Es Editor de la Revista Brasileira de Zootecnia, y ad-hoc reviewer de las revistas Agron. J., Crop Sci., y Dairy Sci. J. Su trabajo de investigación se enfoca en descubrir los factores determinantes de productividad y resiliencia en sistemas agro-ganaderos. A más de proveer forraje para la alimentación animal, estos sistemas proveen otros servicios como: reciclaje de nutrientes, conservación e incremento en la fertilidad de suelos, control de plagas, refugio de especies silvestres, producción de fibra y tienen potencial como fuentes de bio-energía. Sus proyectos incluyen la evaluación de: persistencia y efectos de fertilización en asociaciones de pastos y leguminosas tropicales y de clima templado; uso de fuentes orgánicas y químicas para fertilización de sorgo, pasto elefante, y caña de azúcar; producción forrajera en sistemas silvo-pastoriles; determinación de tasas de mineralización y descomposición de fertilizantes. Tiene como meta desarrollar información y tecnologías para el manejo eficiente de los recursos agro-ganaderos.

### MARIO CAVIEDES



Ingeniero Agrónomo de la Universidad Central del Ecuador, Maestría en Ciencias del Colegio de Posgraduados-México. Ph.D., en Agronomía en la Universidad de Sao Paulo-Brasil. Se ha desempeñado como: Director de Investigaciones del INIAP (1990 - 1993) y (2002 - 2003); Coordinador Nacional del Programa de Mejoramiento del Maíz (1998 - 1999); Subdirector General del INIAP (1999- 2000), Director de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP (1993-1994). Docente de Pregrado desde 1985 en la Universidad San Francisco de Quito, Universidad Central y Universidad Técnica de Ambato. Docente de Posgrado desde 1999 en las: Universidad Técnica de Ambato, Universidad Central y Universidad de Guayaquil. Actualmente Director de la Carrera de Ingeniería en Agronomía de la USFQ. Ha dirigido proyectos como “Agro-morphologic and molecular characterization of black maize Germplasm (*Zea mays*) preserved at University San Francisco de Quito”; “Desarrollo de Híbridos de Maíz Semiduro y Estimación de Costos Asociados con esta Tecnología en la Sierra Ecuatoriana”; “Generación y Evaluación de Poblaciones Mejoradas de Maíz para la Sierra y Litoral del Ecuador” y “Resistencia Genética a Insectos y Enfermedades en Ambientes Tropicales en América del Sur” y co-

investigador en Proyectos en las áreas de Ingeniería de Alimentos e Ingeniería Química. Cuenta con más de 25 publicaciones tanto nacionales como internacionales. También ha sido consultor de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO) en el área de Semillas.

### **JAVIER DO CANTO**



Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República de Uruguay. Realizó sus estudios de posgrado en Iowa State University, Estados Unidos, obteniendo el grado de Doctor of Philosophy (PhD) en Plant Breeding (2012-2017). Es investigador en INIA Tacuarembó desde 2007 en el área de genética vegetal y fitomejoramiento. Su campo de actuación es, el mejoramiento genético vegetal, con énfasis en el desarrollo de cultivares de especies forrajeras. El objetivo es superar las limitantes productivas, adaptativas y nutricionales de las variedades comercializadas en el país, y ampliar las opciones forrajeras disponibles a los productores agropecuarios. Es autor y coautor de artículos técnicos y científicas de revistas indexadas. Ha participado en la liberación de cultivares como: *Paspalum notatum* cv INIA Sepé (2017) y *Lotus angustissimus* cv INIA Basalto (2017). Recibió reconocimiento por alto desempeño académico de estudiantes de posgrado en áreas agrícolas otorgado por: Gamma Sigma Delta, the Agriculture Honor Society

### **JULIO ESCOBAR**



Ingeniero Agrónomo (Universidad Central del Ecuador), Maestría en Biotecnología (ALITER Escuela Internacional de Negocios - España), y Especialización en Cooperación Internacional (Instituto de Altos Estudios Nacionales - Ecuador). Inició sus actividades profesionales como investigador en diversos proyectos agrobiotecnológicos, con énfasis en Cultivo de Tejidos Vegetales y Biología Molecular. Ha ejercido actividades complementarias de docencia (pregrado y posgrado), metodologías de capacitación, asesoramiento a nivel de consultorías particulares, complementando con la creación y gestión de emprendimientos de base biotecnológica. Cuenta con experiencia en el uso y aprovechamiento de modernas biotecnologías, principalmente referentes a asuntos regulatorios para la siembra y comercialización de cultivos biotecnológicos. Actualmente es Coordinador Técnico de la Representación de IICA en Ecuador, y a su vez responsable del área de innovación para la productividad y competitividad; ha desarrollado una diversidad de proyectos de desarrollo para el sector agropecuario y rural en Ecuador y la Región Andina. Sus últimas publicaciones son: “El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, y “Guía de capacitación para agricultores familiares dedicados a la producción lechera”, y “Formación de Facilitadores en Metodología de Escuelas de Campo, Guía del Facilitador”.

### **ANTONIO A. GONZÁLEZ**



Ing. Agropecuario de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, con Maestría y especialidad en Suelos y Nutrición de Plantas de la Universidad Central del Ecuador – UCE. Tiene cursos de especialización a nivel nacional e internacional en: fisiología vegetal, nutrición avanzada, fertirrigación, hidroponía y acuaponía, de cultivos hortofrutícolas y ornamentales en las universidades de Florida y Cornell, USA, y en el Colegio de Posgrados de México. Ha participado como ponente en varios eventos Nacionales e Internacionales y ha colaborado en investigaciones relacionadas con fisiología vegetal, absorción-extracción de nutrientes y análisis de modelos matemáticos de desarrollo fiso-morfológico de cultivos hortofrutícolas. En la actualidad es asesor en fisiología y nutrición vegetal de grupos y empresas agroexportadoras de cultivos hortofrutícolas y ornamentales [guanábana, uvas, berries (arándanos, fresas, frambuesa), aguacate, mango, nogal pecanero, brócoli, rosas y claveles] en México, Ecuador, Colombia, Perú, Brasil, Centro América y USA.

### **JORGE E. GRIJALVA**



Ingeniero Agrónomo de la Universidad Central del Ecuador, Magister en Producción Animal de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Doctor del INIAP-G del Departamento de Ciencias Animales de Institut National Agronomique Paris-Grignon INAP-G (AGROPARIS-TECH). En el año 1997 ingresó a la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Central del Ecuador, donde actualmente es Profesor Agregado en las áreas de nutrición animal y Pastos y Forrajes. Adicionalmente, es Subdecano de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Ha trabajado con el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, como técnico investigador, y Líder del programa Nacional de Ganadería (1983-1999). Investigador del proceso de transferencia de tecnología en las tres regiones del Ecuador y Líder de programa nacional de forestería (2000-2014). Ha sido tutor de varias tesis de grado y posgrado y ha presentado varios trabajos científicos en Congresos Nacionales e Internacionales y ha publicado en revistas indexadas. Es miembro de la Red Agroforestal Centroamericana, Red Procritopicos, Corporación Iniciativa Amazónica, y a las asociaciones Latinoamericana y Ecuatoriana de Producción Animal.

### **FRANCISCO A. GUTIERREZ**



Ingeniero Agropecuario (2005) y Master en producción Animal (2014) por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Actualmente es Docente en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador en las cátedras de Nutrición Animal y Pastos y Forrajes (2015-presente). Previamente, ha trabajado como docente en las Facultades de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las Fuerzas Armadas y la Universidad Politécnica

Salesiana (2008 – 2015). Ha realizado varias capacitaciones en institutos internacionales y ha publicado varios artículos científicos en revistas indexadas.

### **JUAN E. LEON**



Ingeniero Agrónomo graduado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, tiene el título de Magister en Agricultura Sustentable emitido por la UTA, obtuvo el título final de PhD en Recursos Hídricos otorgado por la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima Perú, con honor del mejor egresado con el puntaje más alto de la UNALM, ha realizado varios cursos de capacitación en su área específica en varios países del mundo, inicio sus actividades profesionales en 1989 en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP en el programa de Fruticultura como profesional de carrera con nombramiento de investigador, en dicha institución se desempeñó como investigador, Jefe de la Granja Experimental Pillaro del INIAP y antes de su salida 1.999 como Jefe Equipo Zona Central del Programa de Fruticultura, en el mismo año se enrolo a la vida privada en las que desempeñó el cargo de Coordinador Nacional del Proyecto transferencia de los sistemas de riego en el Ecuador en el programa desarrollo agropecuario con la Universidad Estatal de UTAH de Norte América, en la Subsecretaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería se desarrolló como Director Técnico de la Sierra, ha realizado varias consultorías y capacitación con instituciones nacionales e internacionales con respecto a riego parcelario, en su vida profesional se ha desempeñado como docente invitado en varias universidades del país, desde el 2009 se enrolo bajo concurso de merecimientos y oposición a la Facultad de Recursos Naturales con las cátedras de Riegos y Drenajes, diseño de sistemas de riego, fruticultura I y II, su proyecto emblemático mentalizador es la creación del primer Centro Experimental del Riego en el Ecuador, tiene varias publicaciones en revistas indexadas.

### **JAVIER M. JIMENEZ**



Ingeniero Agrónomo por la Universidad Central del Ecuador. Actualmente es Consultor Especialista en Fortalecimiento de Capacidades dentro del Proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO (2017-presente). Previamente, ha trabajado en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), como director de transferencia de tecnología (2013-2016) y como director de Innovación y desarrollo agroproductivo en el Ministerio de Agricultura (2010-2013). Dentro de sus funciones ha desarrollado programas de fortalecimiento de capacidades instituciones gubernamentales, productores ganaderos, personal técnico del proyecto, entre otros. Ha



dado apoyo técnico y metodológico en talleres participativos con autoridades, personal técnico y productores ganaderos. Análisis de vulnerabilidad local amenazas climáticas en la actividad ganadera, Diagnósticos Rurales Participativos de los sistemas productivos ganaderos, entre otros. Y ha Desarrollado guías metodológicas para la capacitación de productores ganaderos en Ganadería Climáticamente Inteligente.

### **JOSE L. PANTOJA**



Ing. Agrónomo de la Escuela Agrícola Panamericana – EAP, Zamorano, Honduras, C.A. En Zamorano trabajó en el laboratorio de suelos y en la unidad de servicios agrícolas. Realizó prácticas profesionales en química ambiental de suelos y fertilidad de suelos las Universidades de Florida y Arkansas, USA. Tiene un M.S. de la Universidad de Arkansas y un Ph.D. y un post-doctorado de la Universidad Estatal de Iowa, USA, con especialización en fertilidad de suelos y nutrición vegetal. En Ecuador fue parte del Proyecto PROMETEO de la SENESCYT, en el que realizó actividades de docencia, capacitación técnica, y proyectos de investigación en temas agrícolas. En la actualidad es Gerente Técnico de AGNLATAM S.A. y docente invitado de varios programas de maestría en universidades de Ecuador. Además de sus actividades de consultoría, realiza proyectos de investigación en ciencias agrícolas con énfasis en: manejo y fertilidad del suelo, enmiendas de suelo, uso de fertilizantes, dinámica de nutrientes, y nutrición y producción de cultivos.

### **JULIO PAZMIÑO**



Ingeniero Agrónomo de la Universidad Central del Ecuador (2005) y Master en producción Animal (2014) por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Actualmente es Docente en la carrera de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de las fuerzas Armadas en la cátedra de Manejo de Pastos y Forrajes (1996-presente). Previamente, ha trabajado como Investigador en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIAP (1986 – 1996). Ha realizado varias capacitaciones en institutos nacionales e internacionales.

### **CHRISTIAN H. PONCE**



Obtuvo el título de Ingeniero Agropecuario de la Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador. Concluyó sus estudios de Maestría en la Universidad de West Texas A&M y Doctorado en Ciencias Animales en la Universidad Texas A&M, con énfasis en la Nutrición del ganado bovino de carne. Realizó un Post-Doctorado como investigador asociado en el departamento de Alimentos y Ciencias Animal de la Universidad de Texas Tech. Trabajó como Gerente Técnico para Novus International, encargado de la Asistencia Técnica a productores de ganado de Leche y Carne en México y Centro América. Ha trabajado en varias Instituciones académicas en el Ecuador, encargado de la



Investigación y docencia a nivel de Pregrado y posgrado. Es autor y coautor de 20 publicaciones en ciencia básica y aplicada. Dentro de sus Intereses, están la Nutrición de Rumiantes y de Monogástricos. Producción Animal Sustentable. Interacción entre Nutrición y Sanidad Animal. Bioquímica Nutricional y la aplicación y desarrollo de nuevas tecnologías, con sustento en ciencias básicas y aplicadas. Actualmente es Profesor Titular Principal de Nutrición animal de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad San Francisco de Quito.

### **ANIBAL PORDOMINGO**



Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. Realizó sus estudios de posgrado en New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, USA obteniendo los grados de Master in Animal Science (Animal Nutrition) (1987-1989) y Doctor of Philosophy (PhD) en Ciencia Animal (1988-1991). Es investigador en INTA desde 1992 en el área de la alimentación animal de rumiantes, calidad de carnes y sistemas de producción

bovina. Es disertante en jornadas técnicas y científicas y autor y coautor de libros y artículos en revistas científicas. Ha sido docente de la Facultad de Agronomía de la UNLPAm y desde el 2004 se desempeña como profesor adjunto de la Facultad de Ciencias Veterinarias de esa Universidad en la cátedra Bovinos para carne. Desde 2010, es profesor adjunto (adjunct professor, ad honorem) del Animal Science Department, de Clemson University, South Carolina, USA. Realiza la dirección de tesis de grado, formación de posgrado y capacitaciones internacionales. Es miembro de la Asociación Argentina de Producción Animal y la American Society of Animal Science. Recibió los premios: “Year 2000 International Distinguished Alumnus Award” de New Mexico State University, USA, otorgado por: College of Agriculture and Home Economics, Center for International Programs and Alumni Association, reconocimiento a la trayectoria de profesionales egresados de esa Universidad, y el “Global Alumni Service to Humanity Award (Zone 23B & 22)”, premio al mérito en aportes a la humanidad, otorgado a exbecarios de La Fundación Rotary de Rotary International.

### **RUBEN PULIDO FUENZALIDA**



Médico Veterinario de la Universidad Austral de Chile, Magister en Producción Animal de la Pontificia Universidad Católica de Chile y Doctor en Filosofía mención en Agricultura de la Universidad de Londres, Inglaterra. En el año 1991 ingresó al Instituto de Ciencia Animal de la Facultad de Ciencias Veterinarias de Universidad Austral de Chile, donde en la actualidad es Profesor Titular dictando cátedra en las áreas de nutrición y producción de leche

principalmente. Ha patrocinado más de sesenta Tesis de Pregrado y más de veinte de Postgrado, en los ámbitos de la Nutrición y Alimentación Animal. Como resultado de la investigación, ha presentado más de 50 trabajos científicos en Congresos Nacionales e

Internacionales y ha publicado más 50 artículos en revistas de impacto internacional. Pertenece a tres Sociedades Científicas Internacionales y a la Sociedad Chilena de Producción Animal, en Chile. Finalmente, ha realizado estadías de perfeccionamiento en universidades y centros de investigación en Irlanda, Estados Unidos, Japón y Nueva Zelanda.

### **ESTEBAN R. RODRIGUEZ**



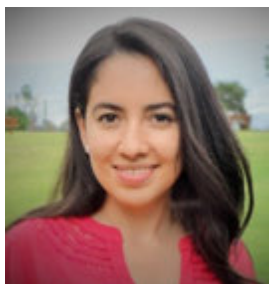
Ingeniero Agropecuario de la Escuela Politécnica del Ejército. Diploma de Estudios Avanzados, MSc., en Agricultura Sostenible y Protección Integrada de Cultivos. PhD., en Sistemas Agrícolas Forestales y Agroalimentarios, Universidad de Lleida, España. Curso de Especialización en Manejo y Gestión de Ganadería de leche y Producción de Pastos y Forrajes, Universidad de Pensilvania, USA. En la actualidad es Consultor Independiente en producción de cultivos forrajeros y ganadería de leche. En la Implementación y Desarrollo de estrategias y buenas prácticas agropecuarias para el manejo integrado y sostenible de unidades de producción eficientes, enfocado a la conservación de los recursos no renovables.

### **LUIS F. RODRIGUEZ**



Ingeniero Zootecnista, graduado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. La carrera profesional inició en el Programa de Ganadería de leche y Pastos de la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en calidad de Investigador asistente donde permanecí desde 1980 hasta 1988. Como parte del equipo de investigadores se realizaron trabajos sobre Nutrición y Alimentación, Sanidad/Salud, Manejo y Reproducción/Mejoramiento en bovinos de leche. Fue director de la Estación Experimental Santa Catalina desde el año 2000 al 2010. A partir de Octubre 2010 hasta la presente soy responsable del Programa Nacional de Ganadería del INIAP, liderando algunos proyectos como “Mejoramiento de la Productividad de los Sistemas de producción de Leche y Carne Bovina en áreas críticas de la Costa, Sierra y Amazonia Ecuatoriana” desde 2010 – 2013. Responsable del Proyecto “Desarrollo de Tecnologías para el Mejoramiento en el manejo de Hatos de Leche y Carne Bovina en Áreas críticas del Ecuador” 2013 – 2015. Responsable del Proyecto “Cambio de Matriz Productiva” Ganadería – INIAP 2015 a la presente. Coordinador de Investigación Pecuaria INIAP 2013 a la presente. Coordinador de proyecto “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la Región Andina dentro del contexto de Cambio Climático” FONTAGRO 2014 a la presente. Coordinador del “Proyecto para escalar investigación regional y las innovaciones de los pequeños agricultores en la cadena de valor del cuy” 2017. Delegado Institucional de apoyo al proyecto “Ganadería Climáticamente Inteligente, Integrando la Reversión de la Degradación de la Tierra y Reducción del Riesgo de Desertificación en Provincias Vulnerables” FAO – MAGAP – MAE 2017

## **PAMELA SANGOLUISA**



Ingeniera Agrónoma por la Universidad Earth de Costa Rica. Maestría en ciencias en International Agribusiness and Rural Development Economics (2010-2012) por la Universidad Georg-August Universität Göttingen, Alemania. Actualmente es Especialista en Mitigación dentro del Proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente, FAO (2016-presente). Previamente, ha sido consultora dentro de la Unidad de Desarrollo de Agronegocios del CATIE (2016). Profesional con experiencia verificable en actividades relacionadas a desarrollo sostenible y cambio climático. Conocimientos sobre metodologías de cuantificación de emisiones de gases efecto invernadero en el sector agropecuario y análisis de cadenas de valor.

## **JOSE S. VELASQUEZ**



Ingeniero Agrónomo, Maestro en Ciencias, especializado en Tecnología de Semillas, obtuvo su Maestría en la Universidad Federal de Pelotas - Rio Grande del Sur, Brasil. Es ingeniero agrónomo graduado de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Estatal de Cuenca. Su especialidad se centra en la investigación y producción de semillas de papa, cereales, maíz, pastos, leguminosas y granos andinos. Su experiencia en investigación y producción de semillas la ha desarrollado en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador en el Departamento de Recursos Fitogenéticos y en el Departamento de Producción de Semillas durante veinte y cinco años. Desde al año 1995 hasta la actualidad, es jefe del Departamento de Producción de Semillas de la Estación Experimental Santa Catalina, donde asume responsabilidades técnicas y científicas en la planificación y ejecución de proyectos productivos y en la realización de actividades de investigación y desarrollo agrícola.

## **RESUMENES DE PONENCIAS**

### **SECCION 1: NUTRICION Y FISIOLOGIA DE PASTOS TEMPLADOS**

## Fertilización de pastos de clima templado: Maximizando la producción al menor costo posible

José L. Pantoja

AGNLATAM S.A. Ibarra, Ecuador. E-mail: [joseluispantoja@gmail.com](mailto:joseluispantoja@gmail.com).

### Resumen

Una adecuada fertilización es el primer paso para lograr una buena nutrición de los cultivos. Por esta razón en la producción de pasturas la fertilización es vital para producir los volúmenes deseados de biomasa y que ésta tenga los niveles adecuados de materia seca (MS), fibra, energía, proteína y composición mineral. Al producir pasturas de buena calidad, se tiene potencial para incrementar la producción lechera y mejorar la salud animal. En este contexto, el productor ganadero es en primer lugar un productor agrícola, porque su objetivo es producir más biomasa de pastos y que ésta sea de buena calidad. Por lo tanto, para realizar recomendaciones de fertilización para pasturas se debe considerar: 1) los requerimientos nutricionales del pasto, 2) la calidad (ej.: contenido de proteína) de la biomasa que se obtendrá, y 3) el *balance de nutrientes* del suelo. Cada pastura tiene sus propios requerimientos y niveles óptimos de nutrientes (en el suelo y el follaje), por lo que la dosis de fertilización debe ser específica para cada tipo de pasto. Con respecto al suelo, trabajar bajo el concepto de balance nutricional ayuda no solo a producir mejores pastos, sino también a: 1) mantener la calidad y salud del suelo, 2) hacer un uso eficiente de los fertilizantes, 3) reducir el impacto ambiental negativo por el mal uso de las fuentes de fertilización y estiércoles, y 4) mejorar la economía del productor en el largo plazo. Por lo tanto, una adecuada fertilización debe considerar el balance nutricional entre el aporte de nutrientes del suelo, la mineralización del estiércol, la mineralización del rastrojo de la misma pastura, el fertilizante y el agua de riego. Al fertilizar también se debe buscar mejorar la producción de biomasa radicular porque la raíz es la boca de la planta. Para hacerlo, se debe analizar factores como el pH y la salinidad del suelo, su grado de compactación y la calidad del agua de riego. Todo esto debe enmarcarse en un análisis económico para garantizar la rentabilidad del sistema productivo. Por las consideraciones indicadas se necesita realizar una adecuada fertilización y nutrición de pasturas en pro de mejorar su calidad y volumen de producción.

**Palabras clave:** Balance de nutrientes, Biomasa, Calidad forrajera, Fertilización, Materia seca, Nutrición de pastos.

## **Impacto del método de aplicación y cantidad de agua en la producción de forrajes.**

J. León, H. Garcés, R. Peña, S. Silva.

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – ESPOCH, Centro Experimental del Riego. Riobamba, Ecuador. E-mail: [juan.leon@epoch.edu.ec](mailto:juan.leon@epoch.edu.ec).

Los rendimientos de los cultivos bajo riego son 3.6 veces mayores que de los cultivos de secano y que el valor económico de las cosechas de cultivos bajo riego significan unas 6.6 veces el de las cosechas de cultivos sin riego. La teoría indica que relación del agua eficientemente utilizada en los cultivos y el agua total utilizada en la práctica del riego demuestra la eficacia de los métodos de riego; es decir, el método por gravedad 40-65 y aspersión el 80-85%. (FAO, 2013). Por esta razón la ESPOCH y la Junta de Riego Cebadas, quieren validar la teoría, mediante la investigación, con el propósito de evaluar alternativas de métodos de riego con mayor eficiencia económica para el cultivo de pastos, debido a que el recurso hídrico es subutilizado, mediante la comparación, de métodos de riego, tradicional (gravedad) y tecnificado (aspersión). Objetivo General Comparar la eficiencia técnica y económica de dos métodos de riego: gravedad y aspersión en el cultivo de pasto en el módulo Cebadas Central. Objetivos específicos: a) Caracterizar los factores agronómicos e hidráulicos implementados. b) Determinar la huella hídrica del cultivo de pastos. c) Evaluar la eficiencia económica financiera de los métodos de riego por gravedad y aspersión en el cultivo de pastos. La metodología fue de tipo no experimental en una parcela productiva ya establecida, donde no se tuvo control de las variables independientes, por tal razón, se la denomina variables atributivas: Condiciones geográficas y agroecológicas, diseño hidráulico, huella hídrica, cultivos, método de riego, costos de producción de cada método, mientras que la variable dependiente es: la eficiencia de los dos métodos de riego. El ciclo del cultivo inicio el 1 de Agosto del 2017, las parcelas presentaron la misma mezcla forrajera ray grass perenne, pasto azul, trébol blanco. Para determinar la huella hídrica se utilizó los métodos deductivo e inductivo; identificado las parcelas más idóneas a utilizar, las misma que fueron visitadas para seleccionar bajo los criterios de tecnificación (tipos de pasto, método de riego, turnos de riego, tiempo de corte y cosecha del pasto), se analizó los indicadores: ETc, Kc, Ciclo del cultivo, Precipitación, Rendimiento. Como resultados, en todos los sectores cuentan con acceso al sistema de riego de Cebadas. Falta de tecnificación en mayor porcentaje utilizan el método de riego gravedad, canteros, surcos e inundación, es necesario que prioricen en nuevas inversiones optimizando el recurso hídrico, empleando otros métodos de riego de mayor eficiencia técnica. Para la huella hídrica total, los valores más altos son para el método de gravedad, con 1,64 m<sup>3</sup>/1Kg de materia fresca y para el método de riego por aspersión de 0,76 m<sup>3</sup>/1Kg de materia fresca, el método por gravedad emplea la mayor cantidad de agua en comparación con el método por aspersión, así mismo el riego por gravedad es de menor eficiencia para la producción de pasto, bajo las condiciones evaluadas en el ciclo del cultivo. Con los porcentajes de materia seca para el método

gravedad presento 20,38% Materia seca, en relación al método por aspersión que fue de 21,42 % Materia seca, siendo el de mayor eficiencia el método de riego por aspersión. La eficiencia de aplicación se determinó que el método de aspersión se determinó del 87.1%.

**Palabras Claves:** Cultivo de pasto, Eficiencia técnica del riego, Huella hídrica, Junta de riego cebadas, Métodos de riego.



## Aplicación de enmiendas para mejorar las condiciones de suelo en sistemas de producción de pasturas: ¿Dónde estamos?

José L. Pantoja

AGNLATAM S.A. Ibarra, Ecuador. E-mail: [joseluispantoja@gmail.com](mailto:joseluispantoja@gmail.com).

### Resumen

El pH (grado de acidez) y la conductividad eléctrica (CE, grado de salinidad) son propiedades químicas del suelo que afectan el crecimiento radicular y por lo tanto, la producción de cultivos. La acidificación (en especial a  $\text{pH} < 5.5$ ) resulta de procesos naturales como la mineralización de la materia orgánica y antropogénicos como la aplicación de fertilizantes con altos índices de acidez. En cambio, el incremento de la CE (en especial cuando supera valores de  $1.5 \text{ mS cm}^{-1}$ ) se debe a la aplicación de fuentes (orgánicas y químicas) con alta salinidad y el uso de agua de riego de mala calidad (con alto grado de dureza). Para obtener producciones óptimas de biomasa, los pastos requieren condiciones adecuadas de pH y CE; por ejemplo, el ryegras perenne (*Lolium perenne*) requiere un pH óptimo de 5.5-7.5 y una CE de 0.2 a  $0.5 \text{ mS cm}^{-1}$ . Al tener suelos con pH (muy ácido o alcalino) y CE (muy salino) extremos, disminuye la bio-disponibilidad de nutrientes y el sistema radicular crece de forma deficiente. Esto resulta en menor absorción de nutrientes por parte del cultivo y a su vez en menor producción de biomasa. Para reducir este tipo de problemas, el productor debe: 1) tener en cuenta la selección de fuentes adecuadas de fertilización (bajo grado de acidez y salinidad), 2) hacer aplicaciones de dosis adecuadas de abonos orgánicos (que aportan salinidad al suelo por las sales que ingieren los animales), y 3) verificar y corregir la calidad del agua de riego. Cuando las condiciones de pH y CE han alcanzado niveles no deseados es necesario aplicar enmiendas de suelo. Para que la aplicación de enmiendas sea efectiva, el productor debe considerar factores como: la calidad del material a aplicar (pureza y grado de finura), la dosis de aplicación y la textura del suelo. El efecto positivo de la aplicación de una buena enmienda (en dosis y calidad) debería durar entre 4 a 7 años, pero se han observado situaciones donde solo dura 2 años. En el mercado existen materiales encalantes (carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos) que se utilizan para reducir la acidez del suelo y materiales que ayudan a reducir la salinidad (en especial el sulfato de calcio). Para aplicar estos materiales y lograr resultados positivos, se debe calcular el poder relativo de neutralización total (PRNT). Muchas veces los productores y técnicos desconocen de estas valoraciones, y por eso las aplicaciones de estos materiales no son efectivas. Por esta razón, se debe tener en cuenta todas estas consideraciones para realizar enmiendas de suelo y de esta manera mejorar la producción de pasturas.

**Palabras clave:** Abono orgánico, Acidez intercambiable, Conductividad eléctrica, Enmienda de suelo, Fertilizantes, pH.

## **Utilización de conceptos aplicados de fisiología vegetal para eficientes producciones de materia seca.**

Antonio A. González

Asesor Agrícola en Producción de Cultivos Ornamentales y Hortofrutícolas. E-mail:  
[antonio\\_gonzalezi22@yahoo.com](mailto:antonio_gonzalezi22@yahoo.com)

### **Resumen**

Las praderas constituyen el principal alimento para los rumiantes en varias zonas templadas en el mundo. Estas regiones en particular cuentan con condiciones climáticas, edáficas y ecológicas que permiten producir grandes cantidades de biomasa, y por consiguiente de carne y leche. Esto se logra utilizando racionalmente recursos naturales, empleando plantas forrajeras “C3 y C4” y animales adaptados a las condiciones. Los forrajes de clima templado son indispensables en sistemas agropecuarios sostenibles en base a pastoreo de praderas. El crecimiento y desarrollo de las plantas forrajeras (leguminosas y gramíneas) están determinadas por la genética de la planta y por las condiciones ambientales a las cuales están expuestas. Es necesario conocer la respuesta fisiológica de cada especie a las condiciones ambientales para determinar las prácticas de manejo adecuadas para cada condición. Los tres factores más importantes en el desarrollo, maduración y producción final de las especies forrajeras son radiación solar o luz, temperatura y humedad - fertilidad del suelo. La vegetación que se utiliza en los sistemas de producción ganaderos es producida por una serie de procesos fisiológicos y morfológicos que se desarrollan en cada una de las plantas que constituyen la comunidad vegetal. A la serie de cambios estructurales exhibidos por las plantas desde su germinación hasta su maduración, incluyendo división celular, diferenciación y crecimiento se le denomina desarrollo morfológico. El desarrollo morfológico de las pasturas define su organización arquitectónica, influencia su palatabilidad, accesibilidad para los herbívoros y afecta su habilidad para rebrotar después de una defoliación. Procesos fisiológicos, establecen la capacidad de las pasturas para la captura de la energía solar y la síntesis de factores indispensables para sostener un desarrollo estructural. El impacto principal del pastoreo sobre el crecimiento de la planta es una reducción en la capacidad fotosintética asociado con un decremento en su área foliar – producción final de materia seca. Los forrajes sobreviven a los efectos del pastoreo mediante varias estrategias, como la reducción en la probabilidad de ser pastoreados, o el remplazamiento rápido de área foliar removida por los herbívoros. Atributos morfológicos y compuestos bioquímicos influyen la probabilidad y severidad del pastoreo, afectando accesibilidad del tejido y la palatabilidad de la especie. Por otro lado, procesos fisiológicos y disponibilidad de meristemas confieren a la planta la capacidad de reemplazar tejido removido en forma rápida y eficiente. Para aprovechar estas condiciones ventajosas, y obtener una alta producción de biomasa de calidad es indispensable conocer con detalle la fisiología y morfología radicular (dinámica de crecimiento y exploración efectiva del suelo), considerando que está influenciado directamente por el manejo de la fertilización (disponibilidad de nutrientes en el suelo, requerimientos nutricionales de los forrajes y calendario de aplicación), por lo que en un suelo fértil el volumen radicular será pequeño, estando el mismo ocupado con raíces finas que extraerán nutrientes de forma intensiva, en comparación a un forraje no fertilizado

que explorará un mayor volumen de suelo. De igual forma, es necesario conocer los requerimientos nutricionales de los animales que se alimentan de estas praderas, para mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda nutricional. Esto permite mantener una producción eficiente y rentable en el tiempo.

**Palabras clave:** Condiciones ambientales, forrajes, genética, morfología, pastoreo.

## **Producción y conservación de forrajes transitorios: una iniciativa de desarrollo local**

Julio Daniel Escobar<sup>1</sup> y Andrea Ortega Montalvo<sup>2</sup>

1. Especialista Local, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA Ecuador.

2. Consultora, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA Ecuador.

### **Resumen**

Los productores de leche en la Sierra ecuatoriana están conformados entre un 50% al 86% por agricultores familiares (Requelme y Bonifaz, 2012). Estos han experimentado una transición de una producción para autoconsumo, a una producción orientada a satisfacer la creciente demanda de ciudades aledañas. La venta de leche es su principal medio de sustento, sin embargo, la productividad de la leche enfrenta una tendencia decreciente en los últimos años, principalmente por el desequilibrio biológico que experimenta el país representado por las alteraciones climáticas con énfasis en el ciclo del agua. Los efectos negativos de este desequilibrio, se agudizan en zonas rurales, que no cuentan con alternativas para abastecer de agua a cultivos y ganado. Es el caso de la comunidad de Ubillús en la provincia de Pichincha, donde se ha alterado la intensidad y temporalidad de las lluvias y sequías, afectando significativamente la provisión de alimento (principalmente pastizales) para la ganadería de la zona. En el 2016, los promedios de producción para época de lluvias en la zona llegaron a 10 litros/vaca/día, mientras que en época de sequía disminuyeron a 4.6, siendo la falta de pastos el principal factor de esta reducción de productividad. De acuerdo al Centro de la Industria Láctea del Ecuador (2015), el potencial de producción en Pichincha puede alcanzar al menos los 17.8 litros/vaca/día. A fin de crear condiciones para que los productores de Ubillús se conviertan en elementos activos de su desarrollo, se ejecutó un proyecto integrador de **Unión, Conocimiento, y Acción** para alcanzar un objetivo final: contribuir a la productividad, la sustentabilidad y la adaptación al cambio climático de la agricultura familiar. Dos componentes del proyecto: *Unión* (estructura organizacional) y *Conocimiento* (fortalecimiento de capacidades) incluyeron estrategias basadas en la metodología de escuelas de campo, que consideraron a los agricultores familiares como sujetos de su propio desarrollo, y que orientaron el accionar del proyecto a consolidar un eje primordial para la autogestión por empoderamiento basado en la adquisición de conocimientos y habilidades. Un tercer componente: *Acción* (picadora de forrajes y elaboración de bolsas silo), promovió el involucramiento de la comunidad desde el diseño, construcción, operación y mantenimiento de una picadora de forrajes para producir reservas de alimento a través metodologías participativas. El principal resultado, fue una estrategia de adaptación de la producción lechera, ante fluctuaciones climáticas estacionarias que afecten la disponibilidad de pasto y forraje para la alimentación del ganado vacuno, con el uso de una picadora y la producción de bolsas silo bajo un sistema comunitario. Esto les permitirá a los productores, sin mayor inversión, o sin intervenciones hacia otros factores de la producción, evitar disminuciones de producción de leche en épocas de sequía, aportando con una estabilidad de los ingresos derivados de la venta de

la leche durante todo el año. Adicionalmente, se fortaleció la cohesión social de los beneficiarios, el empoderamiento de la intervención y la apropiación de los resultados.

***Palabras clave:*** agricultura familiar, bolsas silo, cambio climático, empoderamiento comunitario, escuelas de campo, fortalecimiento de capacidades

## RESUMENES DE PONENCIAS

### SECCION 2: COSTOS DE PRODUCCION E IMPACTO AMBIENTAL

## Costos de Producción de mezclas forrajeras: Estimaciones de su rentabilidad

Mario Caviedes, Luis Ugsha, Sebastian Pazmiño  
Universidad San Francisco de Quito USFQ Quito-Ecuador.  
E-mail: [macaviedes@usfq.edu.ec](mailto:macaviedes@usfq.edu.ec)

### Resumen

En la Sierra Ecuatoriana la ganadería de leche es una actividad socio- económica importante ya que involucra a pequeños, medianos y grandes productores, según el INEC (2017) la superficie sembrada a nivel nacional con pastos cultivados fue de 899,845 ha, con rendimientos estimados de 17 toneladas de forraje verde / hectárea y un rendimiento de materia seca de 3.1 toneladas/ hectárea. La alimentación del ganado de leche se basa principalmente en el consumo de pastos y balanceados que cubren los requerimientos nutricionales de los animales; la producción de pastos y forrajes presenta bajos rendimientos debido principalmente a factores tales como: inestabilidad y frecuencia en la cantidad de lluvias, agresividad de las gramíneas invasoras; mala preparación de la cama de semilla y el manejo inapropiado del pastoreo. En este contexto se realizó un estudio para determinar los costos y beneficios relacionados con la implementación de 10 diferentes mezclas forrajeras que incluyo 10 diferentes especies; considerando una superficie de terreno de 20 hectáreas. En base a un estudio preliminar de mercado se consideró los siguientes indicadores de demanda: Consumo Nacional Aparente (CNA), Producto Interno Bruto (PIB) y Población Económicamente Activa (PEA) los que mostraron una tendencia positiva de crecimiento lo que es un indicativo de la futura demanda de la producción forrajera. Así mismo, se analizó la Oferta disponible de semilla certificada de pastos mejorados, ofrecida por diferentes casas comerciales y los precios de las mismas. Por otra parte, se realizaron estimaciones de inversiones, costos variables, costos fijos, gastos administrativos, gastos de venta, ingresos, amortizaciones y depreciaciones con base de las cuales se construyó un flujo de caja considerando una línea de crédito con una tasa de referencia de 8.63%. En base a esta información económica se realizó la evaluación financiera estimándose los siguientes parámetros: tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN), relación beneficio –costo (B/C), punto de equilibrio (PE) y estado de pérdidas y ganancias (EPG). Los resultados del estudio permitieron determinar la alta rentabilidad obtenida para la producción de mezclas forrajeras.

**Palabras claves:** Demanda, Forraje verde, Materia seca, Mezclas Forrajeras, Parámetros financieros, Semilla certificada.

## **Estrategias para Minimizar Costos de Producción de Alternativas Forrajeras**

José S. Velásquez, Marco A. Araujo, Edwin Cruz, Luis Rodríguez, Antonio Guacapiña.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, E-mail:

[jose.velasquez@iniap.gob.ec](mailto:jose.velasquez@iniap.gob.ec)

### **Resumen**

Obtener más forraje por hectárea en una explotación ganadera, constituye un aspecto muy importante para alcanzar costos de producción bajos. Para ello es fundamental disponer a lo largo de todo el año, de una alimentación equilibrada producida en la misma finca. Las condiciones climatológicas favorables como temperatura, humedad en el suelo y luminosidad, en algunas épocas del año, determinan un aumento en la producción forrajera, que debe ser aprovechada al máximo de su potencial. Una parte de los forrajes obtenidos en las épocas de mayor producción, deben ser conservados para alimentar al ganado en los momentos de baja productividad de los campos, específicamente en los meses secos donde el desarrollo de las praderas es bajo. Reducir los costos de producción es una tarea que todo productor ganadero debe realizar en su negocio, aprovechando al máximo los recursos técnicos, naturales y biológicos disponibles para poder realizar un eficiente manejo integrado del cultivo, donde sobresale, el correcto uso del agua, suelo, fertilizantes, semilla de calidad, control de malezas, plagas y enfermedades, laborales culturales y mecanización. Si logramos utilizar eficientemente los aspectos enumerados anteriormente, con un costo de producción de 3.500 dólares se puede obtener 60.000 kg de silo de maíz a un costo de 6 ctvs de dólar por kg. Entre los procedimientos más utilizados para la conservación de forrajes, el ensilaje, heno y henolaje, pueden ser los de mayor interés, porque permite obtener más principios alimenticios por hectárea. El ensilaje es un proceso de conservación del forraje basado en una fermentación y que hace posible el aprovechamiento de muchas especies forrajeras. Este procedimiento es ideal para conservar especies forrajeras que se obtienen en muy poco tiempo, dejando libre el terreno para otro cultivo y abaratando costos. El maíz forrajero constituye la especie más apta para ensilar, pues se conserva muy bien por periodos largos de tiempo, sin necesidad de emplear conservantes ni controlar la humedad. Así mismo, la avena asociada con vicia constituye un forraje excelente, que alcanza grandes producciones por hectárea, proporcionando un ensilado de alto valor nutritivo. El henolaje o empaquetado de rollos húmedos, consiste en cortar el forraje y someterlo a un premarchitamiento durante cierto período de tiempo. Otra alternativa forrajera es el heno como un forraje conservado que posee un bajo contenido de humedad, menor al 15% y que permite ser almacenado sin peligro de fermentaciones y desarrollo de hongos. Estas alternativas forrajeras coordinadas y planificadas en la propiedad, permitiran tener un hato ganadero bien alimentado durante todo el año.

**Palabras claves:** Alimentación, avena, forraje, heno, henolaje, maíz, silo.

### **Uso de recursos forrajeros dentro del enfoque de ganadería climáticamente inteligente**

Pamela Sangoluisa R., Javier Jiménez, Armando Rivera, Juan Merino



### Resumen

La agricultura climáticamente inteligente propone una conversión de las cadenas de valor y sistemas productivos agropecuarios con la finalidad de contribuir a un desarrollo sostenible garantizando la seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático. La actividad ganadera, dentro de un enfoque climáticamente inteligente, persigue tres objetivos: incrementar de manera sostenible la productividad e ingresos de los productores, fomentar la resiliencia al cambio climático y; reducir y/o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Las emisiones de GEI provenientes de las cadenas de suministro ganadero a nivel mundial alcanzan 7,1 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq por año, lo cual representa el 14,5% del total de emisiones antropogénicas. De igual manera; incrementos en la temperatura media anual, mayor ocurrencia de eventos climáticos extremos, y cambios en los patrones de precipitación impactan los recursos de los cuales depende la ganadería. Al mismo tiempo, existe una creciente demanda de proteína animal impulsada por el aumento de la población mundial, el poder adquisitivo y procesos de urbanización en los países en desarrollo. Por lo expuesto, identificar e implementar prácticas que permitan mejorar la productividad y resiliencia al cambio climático, mientras se reducen las emisiones de GEI se convierte en un reto primordial para el sector. En el contexto nacional, las emisiones provenientes del sector ganadero también juegan un importante rol. Según valores calculados por el Proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente, en el año 2016 las emisiones directas del sector ganadero ascienden a 16.547,03 miles de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq; de las cuales el mayor porcentaje (76,92%) proviene del proceso de fermentación entérica, seguido de las emisiones de óxido nitroso originadas por el estiércol en las pasturas (18,12%) y, finalmente un 2,66% metano y 2,30% óxido nitroso generados en los sistemas de manejo del estiércol. Adicionalmente, resultados del estudio de riesgo climático actual del sector ganadero a nivel parroquial indican que, en las provincias de intervención del proyecto (Napo, Morona Santiago, Imbabura, Loja, Manabí, Guayas y Sta. Elena), el riesgo climático total promedio es moderado. Para la implementación del enfoque GCI, se han definido líneas de acción específicas para cada territorio que responden a la realidad y necesidades locales; siendo el manejo de los recursos forrajeros un componente clave en las estrategias de intervención. En el caso específico de Imbabura y la zona alta de Napo, el proyecto GCI se encuentra monitoreando el impacto en productividad, adaptación y mitigación del establecimiento de mezclas forrajeras, bancos de energía, implementación de sistemas de pastoreo rotacional (cercas eléctricas), fertilización foliar y edáfica, cortes de igualación, conservación de forrajes, suplementación mineral y prácticas de encalado para mejorar la calidad y cantidad de los forrajes disponibles.

**Palabras clave:** Adaptación, ganadería, mitigación, productividad, riesgo climático

## Valoración Agronómica de las Semillas de Pastos de Clima Templado Disponibles para el Ecuador

José S. Velásquez, Marco A. Araujo, Edwin Cruz, Luis Rodríguez, Antonio Guacapiña.  
Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Email: [jose.velasquez@iniap.gob.ec](mailto:jose.velasquez@iniap.gob.ec)

### Resumen

En nuestro país, las especies forrajeras constituyen la base fundamental de la alimentación del ganado vacuno, son la fuente de nutrientes más barata y la mejor adaptada a los requerimientos fisiológicos de los rumiantes. Entre otros factores, la eficiencia de la producción animal depende de la óptima utilización de los alimentos en las diferentes etapas: crecimiento, desarrollo y reproducción. La edad fenológica en pastos es un indicador fisiológico que permite saber el momento en que la planta debe ser consumida por el ganado para maximizar la utilización de la materia seca digestible. La evaluación agronómica del pasto a lo largo de su desarrollo, debe ir acompañado de información sobre el tipo de suelo, régimen de lluvia, pendiente del terreno, clima, tipo de ganado y la clase de explotación. Además de un análisis del suelo se debe considerar la pendiente del terreno y la distribución de las lluvias durante el año. Hay pastos que resisten la sequía más que otros, que se adaptan mejor a la baja fertilidad del suelo, a la sombra, a la época fresca del año o de menor radiación solar. La valoración de la productividad de las pasturas es fundamental, pues de ello depende la decisión de la carga animal. Para cubrir aproximadamente las 710.000 ha. (INEC-ESPAC 2017), de pastos cultivados en la sierra ecuatoriana, destacan las gramíneas, Rye Grass italiano, *Lolium multiflorum*, L; y la avena, *Avena sativa* L. como componentes importantes en las mezclas forrajeras para el establecimiento, renovación y corte de potreros, destinados a la alimentación del ganado, las cuales pueden ser aprovechado entre 60 y 90 días sobrepasando las 30 y 40 (t/MV/ha<sup>-1</sup>) respectivamente en condiciones óptimas de suelo, agua, fertilización y sanidad. En la implementación de un pastizal, es necesario que el productor tome en consideración un conjunto de características de calidad de las semillas, lo cual resulta del análisis realizado por el personal especializado en un laboratorio. Los datos de un Boletín de Análisis de Semillas son imprescindibles, no sólo para escoger el mejor lote para sembrar, sino también para determinar la densidad ideal de siembra, lo que garantizará tener mayor número de plantas por ha. y mejorará la productividad; para ello se debe evaluar el valor cultural (VC) de la semilla determinando la calidad física, fisiológica y sanitaria. Este valor se expresa en porcentaje, por lo tanto el VC: es el porcentual en semillas que germinarán en un kilo en condiciones normales, por el porcentaje de pureza dividido para 100:  $vc = (\% \text{ pureza} \times \% \text{ de germinación}) / 100$ .

**Palabras claves:** Alimentación, forraje, germinación, pureza, valor cultural

## **Efecto de la suplementación en vacas en pastoreo sobre producción, eficiencia del uso y costo beneficio**

Francisco Gutierréz, Juan Rocha, Arnulfo Portilla.

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Ciudadela Universitaria, Jerónimo Leiton s/n y Av. La Gasca, (593) 2052219, Quito- Ecuador, CP: 170521. E-mail:

[fgutierrez@uce.edu.ec](mailto:fgutierrez@uce.edu.ec)

### **Resumen**

El uso de suplementos en la ganadería de leche para complementar el pastoreo es una práctica muy difundida en el Ecuador, pero en países que no producen excedentes de cereales su inclusión se limita por su elevado costo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del nivel de suplementación en vacas de pastoreo sobre la producción de leche, eficiencia de uso, composición de leche, relación costo beneficio e interacción que tiene la suplementación con la biomasa en el potrero. Se utilizó un diseño de cuadrado latino con cuatro tratamientos y cuatro animales, se seleccionó 4 vacas multíparas Holstein-Friesian, con peso promedio de 550 kg, entre 80 y 90 días lactación y óptimas condiciones de salud. Los tratamientos a evaluar fueron: 2, 4, 6 y 8 kg de concentrado/vaca/día, esta ración se fragmentó en dos raciones iguales que se ofreció a los animales una parte en el ordeño de la mañana y la otra en el ordeño de la tarde, se utilizó un balanceado comercial pelletizado, con el 14% de proteína bruta, extracto etéreo 5 %, fibra bruta 17 %, cenizas 10 %, y extracto no nitrogenado 54 %; los potreros estaban conformados por una mezcla forrajera de raigrás, trébol, alfalfa y una presencia variable de kikuyo, la producción de biomasa de los potreros (kg MS/ha) se determinó antes de pastoreo, el intervalo entre pastoreos fue entre 28 a 30 días, fisiológicamente el pasto en las condiciones agroclimáticas del experimento llega a su punto máximo de crecimiento y alcanza su vida media foliar, el método utilizado fue cuadrantes con las siguientes dimensiones 0,5 x 0,5 m, se realizó un muestreo al azar y se tomó 10 muestras, en cada una se realizó un corte a ras de suelo y se pesó la biomasa acumulada, una muestra de la biomasa se secó en una estufa por 24 horas a 70 °C para estimar el contenido de MS; esta investigación se desarrolló en la época de invierno en los meses de enero a marzo. La producción de leche (L/vaca/día) aumentó conforme aumentaron las raciones de balanceado ( $p < 0.05$ ), con raciones de 8 kg las vacas produjeron 20 L/vaca/día, al disminuir las raciones también la producción con 2 kg se redujo 17 L/vaca/día. La interacción concentrado y biomasa de pasto en potreros (kg/MS) determinó que con una baja producción de biomasa en pasturas  $< 1564$  kg MS/ha se vuelve más evidente la necesidad de balanceado para mantener la producción, si las pasturas tienen entre 2330-1564 kg MS/ha la demanda de balanceado disminuye, mientras que si las pasturas tienen  $> 2330$  kg MS/ha las altas dosis de balanceado para mantener producción ya no es necesario ya que el pasto aporta una buena cantidad de nutrientes a la vaca. La mejor eficiencia se tiene con 2.4 kg concentrado/vaca/día con una producción de 18.6 L/vaca/día y una eficiencia de uso de 6.5 kg de leche por cada kg de concentrado. La relación costo beneficio es más alta con niveles bajos de suplemento y decrece cuando las cantidades de suplemento aumentan esto es un resultado ya que la producción de leche no aumenta de manera considerable para aumentar la relación costo-beneficio del balanceado.

**Palabras clave:** Ganadería, forraje, leche, pienso, ración.

## **RESUMENES DE PONENCIAS**

### **SECCION 3: VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJES**

## Que Nutrientes debemos evaluar en los forrajes

Christian Ponce

Universidad San Francisco de Quito- USFQ Quito-Ecuador. E-mail:  
[chponce@usfq.edu.ec](mailto:chponce@usfq.edu.ec)

### Resumen

Nutrientes son sustancias químicas esenciales para soportar la vida de un organismo. Desde el punto de vista Agronómico, el objetivo de evaluar nutrientes en forrajes es para determinar tasas de absorción de los distintos minerales que conforman parte de los mismos. Adicionalmente, la evaluación de nutrientes permite definir requerimientos Nutricionales de las diferentes especies forrajeras disponibles. Por otro lado, la evaluación de nutrientes que se realiza en los diferentes forrajes va a depender de la forma de uso que se le vaya a dar (e.g. Pastoreo, Henificación, Ensilaje, etc.) y para quien este destinado esta materia prima (i.e, Vacas lactantes con alto merito productivo, vacas secas, vaconas). El propósito de esta revisión va a ser la identificación de los principales nutrientes que se deben tomar en cuenta en condiciones de pastoreo destinado a vacas lactantes. Las vacas lactantes para soportar tasas de producción adecuadas requieren de Energía, Proteína, Minerales, Vitaminas y Agua. Adicionalmente, se debe considerar factores nutricionales que apoyen a una salud gastrointestinal adecuada (e.g Fibra efectiva, cuando el animal consume elevadas cantidades de carbohidratos altamente digestibles). La Energía presente en los forrajes ha sido determinada indirectamente mediante determinaciones de digestibilidad (Nutrientes digestibles totales, Digestibilidad de MO, concentración de Fibra detergente acida, entre otros). Adicionalmente, la energía se puede estimar en base a la producción láctea observada, tomando en cuenta factores del animal como: distancia recorrida, comportamiento, peso del animal, raza. Esta técnica, es más sensible cuando existen lotes de animales homogéneos. El sistema de Energía más adecuado para expresar Energía en vacas lactantes es el basado en Energía Neta para producción láctea. Proteína es otro Nutriente de Interés, particularmente la proteína metabolizable que se usa para describir a la proteína sintetizada por los microorganismos del rumen y a la fracción de proteína del alimento que sobrepaso la digestión ruminal. Programas de formulación de dietas para vacas en producción toman en cuenta el nivel de Proteína metabolizable. Sin embargo, existe información limitada en cuanto a predicciones de proteína metabolizable en condiciones de producción en base a pastoreo. Es importante la evaluación de los principales forrajes utilizados en condiciones Andinas. Minerales y vitaminas, son analizadas esporádicamente y precaución se debe tomar al momento de suplementar en las cantidades que requiere el animal (Probabilidad de Interacciones entre nutrientes). Evaluaciones de Nutrientes (Cantidad y disponibilidad) en los forrajes es clave para alimentar eficientemente al animal. Sistemas de Producción en condiciones de pastoreo, requieren ser más eficientes en cuanto a suplementación (Si fuese necesario) para sustentar su rentabilidad.

**Palabras claves:** Energía Neta, Minerales, Nutrientes, Proteína, Rentabilidad, Vitaminas

# **Requerimientos nutricionales de las vacas productoras vs ofrecimiento de los pastos templados.**

Rubén Pulido F.

Universidad Austral de Chile

## **Resumen**

La producción de leche en base a praderas tiene ventajas para ser desarrollada en zonas donde el potencial de producción de la pradera sea alta, la variación estacional en la calidad y crecimiento de la pradera sea baja o al menos moderada, que el costo de la tierra sea comparativamente bajo y la leche para industrialización sea una alta proporción del total producido. Por lo tanto, considerando los aspectos mencionados, la zona templado-húmeda del sur de Chile es una zona especialmente competitiva para producir leche en base a praderas permanentes, aunque en condiciones naturales, estas tienen un rendimiento de forraje limitado y marcadamente estacional. En sistemas de producción de leche en base a praderas es evidente que el aumento de la producción de forraje se traducirá en un incremento de la producción de leche, solo si es que este va acompañado de una eficiencia de utilización del forraje producido. Lo anterior permitirá lograr un mayor consumo de forraje por hectárea, que está positivamente asociado al margen económico de los sistemas lecheros basados en pastoreo. Por ende, la pradera se constituye en la base de un sistema de alimentación a pastoreo de bajo costo. En estos sistemas, la producción es dependiente en gran medida del consumo de la pradera y de la calidad del forraje disponible, así como de la carga animal y la productividad individual de las vacas. La cantidad y la calidad de la pradera producida no son constantes durante la estación de pastoreo, lo que impide que los animales con niveles productivos medios a altos satisfagan completamente sus requerimientos nutritivos. Por otro lado, a raíz de la intensificación de la producción de leche y del mejoramiento genético animal se han generado cambios a nivel de la fisiología de la vaca lechera, que alteran su capacidad reproductiva, su salud, producción y, por ende, su longevidad. Para enfrentar esta situación, ha sido necesario disponer de una genética en la vaca lechera para pastoreo que la haga propensa a un alto consumo de materia seca, a una alta producción por unidad de superficie y carga animal, que tenga una adecuada fertilidad y longevidad, que su dieta sea predominantemente de la pradera y que sea robusta frente a las fluctuaciones en la calidad y cantidad de la pradera. Además, es necesario considerar concentrar la densidad nutritiva de las raciones a través del uso de alimentos suplementarios a la pradera y/o aumentar la oferta de materia seca, para permitir, en el marco de comportamiento alimenticio (tiempo de pastoreo - rumia - descanso), alcanzar un consumo adecuado de nutrientes acorde con la mayor demanda nutricional fisiológica.

**Palabras claves:** Consumo, pastoreo pradera permanente, requerimientos nutritivos vacas lecheras, valor nutritivo.

# Pasturas y vegetación natural como alimento para el ganado

Anibal J. Pordomingo  
INTA Argentina

## Resumen

Los nuevos desafíos de la producción bovina actual y futura pasan por el pasto y el pastoreo, aunque se use el confinamiento. La producción de carne bovina enfrenta el desafío de la competitividad global y la gestión ambiental, que se suma a las tendencias globales en la percepción de las responsabilidades de la ganadería con los recursos naturales. Los servicios eco sistémicos positivos de la ganadería bovina (e irremplazables estructuralmente por otras funciones productivas) se respalda en su demanda de pasturas sobre funciones ecológicas (captura de carbono, modulación del ciclo del agua y del nitrógeno, o la recuperación de la biodiversidad específica y genética). El rol de las pasturas de alta producción se revitaliza para la reconstrucción del mosaico de rotaciones que regulen los agro-ecosistemas. Pero el incremento en área de pasturas no será sin competencia con la alternativa agrícola, por lo que el componente pastoril o forrajero de la ganadería debería ser de alta eficiencia. Entonces, el retorno a las pasturas no es justamente un retorno a sistemas del pasado, o planteos de baja productividad. Debemos pensar las pasturas con el diseño por ambientes y con la precisión de la agricultura. Los sistemas ganaderos son y serán diversos, rediseñándose por eficiencias y ventajas competitivas intrínsecas y extrínsecas, pero no se verifica una tendencia hacia una sola tipología. La cantidad y calidad del forraje seguirá siendo el componente clave de la viabilidad técnica y económica de la ganadería. En Argentina, aún con la terminación a corral, la fase pastoril de la cría y recria representa el 95% del alimento que se consume para generar cada kg de novillo que se comercializa. En el proceso ganadero, aún en cría, es clave del resultado la productividad de las pasturas. Los nuevos modelos no se sostienen con pasturas de baja producción. En las regiones sub-tropicales o tropicales de Argentina, Paraguay o Brasil, ocurre lo mismo con la incorporación de especies forrajeras megatérmicas. La investigación ha desmotrado repetidamente que los atributos físicos de la carne no so diferenciables, provenga ésta del pastoreo o del feedlot. Pero para lograr esta meta, la elección y el conocimiento de las forrajeras, como el diseño de los usos y rotaciones es central. El potencial de las forrajeras se define por su capacidad para generar altos aumentos de peso ( $> 800$  g/día) durante períodos que por sí solo, o en secuencia de especies, se logre un período de aumentos altos de al menos 60 días. Esa ventana permite, un nivel de terminación con suficiente grasa subcutánea para alcanzar un grado de comercialización adecuado. En sistemas que persiguen buen marmoleo, esa ventana es escasa. La fase debería iniciarse con ciclos de buen crecimiento desde la etapa temprana de la recria. El modelo de un aumento de peso sostenido con la meta de los 700 u 800 gramos/día, permite promover un muy buen crecimiento y desarrollo, con equilibrio grasa y muscular.

**Palabras clave:** calidad de forraje, sistemas ganaderos, ganadería competitiva, pasturas.

## **Consumo de materia seca: Límites e interacción con suplementos nutricionales.**

Rubén Pulido F.  
Universidad Austral de Chile

### **Resumen**

La utilización eficiente de las praderas en la alimentación de vacas lecheras constituye la base de un sistema de alimentación de bajo costo. Sin embargo, la cantidad y la calidad de la pradera producida no son constantes a través del año (en Chile alrededor de un 50% de la producción anual de forraje ocurre en los meses de primavera, y apenas un 10% o menos en la época invernal), lo que impide que los animales con niveles productivos medianos a altos satisfagan plenamente sus requerimientos nutricionales en algunos períodos. El bajo consumo de MS es reconocido como el factor más limitante para la producción de leche de vacas altamente productivas en sistemas a pastoreo. Al respecto, las vacas lecheras podrían consumir hasta un 3,5% de su peso vivo de MS cuando son alimentadas sin restricciones con praderas de alta calidad. En estas condiciones es posible satisfacer los requerimientos de un animal de tamaño mediano, y no de uno pesado que produzca niveles medios a altos de leche; en estos últimos casos se hace evidente la necesidad de suplementarlos, para que puedan expresar su potencial genético. Por otra parte, un adecuado manejo del pastoreo precisa imponer restricciones a la cantidad de pradera ofrecida diariamente por vaca, limitando su consumo, lo que también demanda suplementar a los animales con requerimientos elevados. La suplementación tiene el potencial de entregar un alimento extra de alta calidad, pero es de mayor costo que la pradera, por lo que debe ser usada estratégicamente. El principal beneficio que se persigue con la suplementación es mejorar la rentabilidad del sistema productivo, mediante el aumento de la producción de leche por animal y por hectárea, e indirectamente, por medio de un mejoramiento en la condición corporal, fertilidad y salud de las vacas. Además, la suplementación puede contribuir a optimizar el manejo de pastoreo y con ello aumentar la producción y utilización de la pradera. La respuesta a la suplementación puede ser medida como efecto de corto plazo (respuesta directa o inmediata) y de largo plazo (respuesta residual). La respuesta de corto plazo se refiere a aquella obtenida durante el período de suplementación y depende de la tasa de sustitución de la pradera por el alimento suplementario, de la calidad del suplemento en relación con la calidad de la pradera, y de la partición de la energía adicional consumida entre producción de leche y ganancia de peso corporal. Por su parte, la respuesta a la suplementación de largo plazo corresponde a los efectos que se observan con posterioridad al período de suplementación. Esta dependerá de la magnitud de la respuesta a la suplementación de corto plazo, de los destinos del peso vivo adicional acumulado y de la pradera ahorrada por efecto de la suplementación.



**Palabras claves:** Consumo, pastoreo, pradera permanente, suplementación, vacas lecheras y tasa de sustitución.

# Comportamiento Agronómico y Nutricional de 26 Variedades de Pastos de la Sierra

Luis F. Rodríguez, Antonio P. Guacapiña y Arturo G. Godoy  
[luis.rodriguez@iniap.gob.ec](mailto:luis.rodriguez@iniap.gob.ec)

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Programa de Ganadería y Pastos, Estación Experimental Santa Catalina Panamericana Sur Km. 1, Vía Tambillo, sector Cutuglagua. Telf. +593-2-3008750, Mejía, Ecuador.

## Resumen

Los pequeños y medianos productores de leche a nivel nacional poseen serias limitaciones en los sistemas productivos. Entre estas se destaca la inadecuada alimentación que le proporcionan a sus animales, debido a que se emplea pastos naturalizados que no cuentan con los nutrientes necesarios para un buen sustento de los animales, lo que genera una baja calidad en la alimentación del ganado y una menor producción de litros de leche al día. Bajo este contexto, la presente investigación se llevó a cabo en la Unidad de Apoyo a la Investigación Pecuaria del Programa de Ganadería y Pastos de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, con el propósito de generar información del comportamiento agronómico y nutricional de 26 variedades de pastos, a fin de identificar material promisorio de alta productividad y calidad forrajera. Los tratamientos estuvieron constituidos 26 variedades de pastos, las cuales fueron agrupadas por especies: Rye grass perenne (Albion, Tetraverde, Linn perenial, Remington, Barruti, Mara, Bars printer, Kingston, Ohau, Asset); Rye grass anual (Magnolia, Magnum, Adrenalin, Max, Pichincha, y Green spirit); Rye grass Híbrido (Sabana, Columbia Bandito y Tetralite); Alfalfas (Abunda verde, Cuf 101, Moapa y SW8210); Avena (Dorada) y Llantén (Tonic). Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Se realizó 2 cortes para la avena y 10 cortes para el resto de variedades. El primer corte se realizó a los 90 días después de la siembra, los otros cortes se realizaron en base a los factores fenológicos que tarda cada especie en estar listas para su nuevo aprovechamiento. Para las especies perennes cuando las plantas llegaron a tener 3 hojas por macollo y par especies anuales cuando empezó a aparecer las primeras inflorescencias. Se evaluó el rendimiento de materia seca por hectárea (Kg MS/ha), valor nutritivo y digestibilidad In situ dentro de un periodo de 24 horas. Las medias fueron comparadas a través de la prueba de Tukey con una significancia de 5%. Como resultados se obtuvo que las variedades de pastos, presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el rendimiento forrajero dentro de cada especie. Los valores promedios de Kg MS/ha más altos alcanzados en diez cortes fueron por las variedades de Rye grass perenne Ohau 3338 y Asset 2823; Rye grass anual Adrenalin 2173 y Magnolia 2086; Rye grass híbrido Bandito 2309 y Sabana 2245; Alfalfa Abunda verde 2623 y Cuf 101 2534. La Avena Dorada presentó rendimiento de 6095 y el Llantén Tonic de 2544. Las variedades con mayor porcentaje de proteína fueron Rye grass perenne Barruti con 19,6%; Linn perenial con 18,84%; Rye grass anual Pichincha con 17,05%; Green spirit con 16,96%; Rye grass híbrido Columbia con 18,98%; Bandito con 17,09% y Alfalfa Moapa con 34,27% y SW8210 con

33,89%. La Avena Dorada presentó 19,77% de proteína y el Llantén Tonic 24,29%. En lo que se refiere a digestibilidad, las variedades que más sobresalieron fueron Rye grass perenne Bars printer con 66,22%; Barruti con 60,83%; Rye grass anual Adrenalin con 66,61%; Max con 63,21%; Rye grass híbrido Bandito con 69,27%; Tetralite con 59,16%; Alfalfa Abunda verde con 69,75% y Cuf 101 con 58,89%. La Avena Dorada presentó 51,36% de digestibilidad y el Llantén Tonic 56,64%. Se concluye que cada variedad de pasto de las especies evaluadas, presentaron diferencias tanto en rendimiento, valor nutritivo y digestibilidad. La Avena Dorada y el Llantén Tonic, mostraron un buen comportamiento productivo, con altos rendimientos de materia seca y buena calidad nutritiva.

**Palabras Claves:** Digestibilidad, Especies, Rendimiento, Valor Nutritivo

## **RESUMENES DE PONENCIAS**

### **SECCION 4: MANEJO DEL PASTOREO**

# Sistemas de Pastoreo: En busca del balance óptimo entre el recurso forrajero y producción de leche

Miguel S. Castillo,

Forage & Grassland Program, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA

## Resumen

Aproximadamente un cuarto de la superficie del globo se utiliza como áreas en pastoreo. El manejo del pastoreo consiste en la manipulación de los animales en pastoreo para obtener resultados esperados en términos de animales (por ejemplo, ganancia de peso, fertilidad, o producción lechera), plantas (por ejemplo, producción de materia seca, valor nutricional, composición florística), conservación (por ejemplo, prevención de la erosión), y/o económicos. Alta calidad forrajera es sinónimo de alto rendimiento animal; es decir, mientras más alta la calidad del forraje, entonces más producción de leche. Sin embargo, el manejo del pastoreo, es decir la interacción planta-animal en un determinado ecosistema, es la condición que determina la calidad del forraje y en consecuencia la productividad animal. El manejo del pastoreo es caracterizado por tiempo, frecuencia, e intensidad. Los tres factores mencionados interactúan determinando por ejemplo respuesta animal. Para sistemas de pastoreo persistentes y productivos, es crítico el manejo de herramientas que permitan tomar decisiones considerando un balance entre los requerimientos del forraje y los requerimientos de los animales; es decir, el balance del conjunto y no solamente de las partes. Por ejemplo, usando pastoreo rotacional, especies forrajeras como alfalfa (*Medicago sativa* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.) son persistentes y productivas al pastoreo; sin embargo, en pastoreo continuo, la persistencia y productividad de estas dos especies es diferente. La carga animal del sistema, o la cantidad de forraje disponible por unidad animal, determina no solamente productividad animal individual, sino también la productividad del sistema, y la relación entre estas dos medidas de productividad puede variar notablemente. El enfoque de esta presentación será discutir ejemplos específicos de cómo el manejo del pastoreo determina la productividad forrajera y animal en sistemas de pastoreo con forrajes de clima templado.

**Palabras clave:** continuo, forrajes, frecuencia, intensidad, manejo del pastoreo, respuesta animal, rotacional.

## Avances en el mejoramiento genético de Pasturas de clima templado

Javier Do Canto

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. Estación Experimental INIA Tacuarembó. Ruta 5 km 386, Tacuarembó, Uruguay.

### Resumen

El mejoramiento genético de forrajeras (MGF) ha contribuido al desarrollo de los sistemas pastoriles de clima templado, aportando variedades con mejor adaptación y productividad. Los principales objetivos del MGF han sido el aumento de la producción total y estacional de forraje, producción de semillas, sanidad, calidad nutricional y persistencia. Sin embargo, el desarrollo de cultivares de especies forrajeras presentan ciertas particularidades que las diferencian de otros cultivos: i) presentan poco margen para modificar el índice de cosecha; ii) muchas especies requieren de un simbiote para desarrollarse y sobrevivir; iii) los ciclos de selección son largos; y iv) el producto cosechado es un producto intermedio en sistemas de producción animal. Como resultado el progreso genético ha sido relativamente bajo, y la adopción de nuevos cultivares está fuertemente influenciada por factores ajenos a las características intrínsecas del cultivar. Además, el MGF se ha enfrentado a limitantes que responden a la dificultad de fenotipar determinadas características. La selección por calidad nutricional suele ser indirecta y no se obtienen buenos predictores de desempeño animal en pastoreo. La falta de integración con otras disciplinas ha demorado la solución a problemas como el meteorismo producido por algunas leguminosas. La baja adopción de cultivares mejorados por parte de los productores ha sido una limitante en el sector público, mientras que el acceso a germoplasma adaptado a condiciones locales lo ha sido para el sector privado. Por otro lado, se presentan oportunidades para el MGF, como la necesidad constante de identificar nuevas fuentes de resistencia para sobreponerse a la evolución de los patógenos. La selección continua por tolerancia a estreses, amplía la adaptación a ambientes específicos y marginales. En características de mayor heredabilidad como el ciclo a floración, es posible avanzar más rápido permitiendo extender el período de utilización de una pastura y mantener la calidad por más tiempo. La eficiencia del MGF también podría mejorarse a través de la manipulación del sistema reproductivo o una mayor adopción de herramientas genómicas y biotecnológicas. La integración interdisciplinaria ofrece la oportunidad de avanzar en aspectos que no pueden ser cubiertos por el mejorador. Asociaciones público-privado permiten potenciar las capacidades de ambos sectores, logrando mejores productos y llegando a más productores. A pesar de los constantes desafíos y oportunidades, a través del desarrollo de cultivares superiores, se contribuye al aumento de la productividad y a la sostenibilidad de los sistemas pastoriles.

**Palabras clave:** clima templado ,forrajeras, heredabilidad, mejoramiento genético, selección.

## **Residuo forrajero y subsecuente rebrote**

Ricardo Rodríguez B.

Consultor independiente. E-Mail: [resrod78@gmail.com](mailto:resrod78@gmail.com)

### **Resumen**

Las condiciones edafoclimáticas propias de la zona de producción ganadera son las principales características que debemos conocer, para en base a ellas considerar o establecer la cantidad de residuo forrajero a dejar en la pradera. En base a la cantidad de residuo forrajero dejado en la pradera podemos estimar la velocidad de rebrote y la producción de MS a obtener en el siguiente pastoreo; obviamente, considerando la fenología, las condiciones climáticas, la fertilización, el riego y manejo de la ganadería. Antes de estimar el residuo forrajero y el rebrote, es de vital importancia trabajar detenidamente en la selección de las especies forrajeras que mejor se adapten a las condiciones edafoclimáticas. Adicionalmente, el manejo de la ganadería; es la única herramienta con la que podemos lograr praderas persistentes y con alta capacidad de producción de forraje para pastoreo o corte. En el caso de raygrass, al dejar el residuo entre el 30 - 40%, el subsecuente rebrote tardará más tiempo en emitir hojas, iniciar la actividad fotosintética y alcanzar la producción de MS. Por el contrario, con residuos entre el 50 - 55%, con presencia de hojas fotosintéticamente activas, reducirá el tiempo para alcanzar la producción de MS para el siguiente rebrote. En el caso la alfalfa, la situación es diferente, debido a que la alfalfa posee la característica de rebrote basal, razón por la cual, el residuo forrajero debe ser mínimo para potenciar brotes vigorosos. Si el residuo es alto, los tejidos se lignificarán y serán de bajo valor nutritivo. La falta de conocimiento del entorno, de las características de crecimiento y desarrollo de las especies forrajeras es uno de los factores que influyen directamente sobre el incremento de los costos de producción de leche. Por lo tanto, abusar del pastoreo, denominado sobrepastoreo, afecta directamente a la capacidad de rebrote y la persistencia, en el tiempo, de la pradera, debido la pobre o nula capacidad de almacenar y traslocar las reservas y para iniciar la actividad fotosintética mediante la emisión de hojas nuevas.

**Palabras clave:** clima, forraje, ganadería, pastos, rebrote, suelo.

# Intensificación del manejo de pasturas para contribuir a una ganadería sostenible y la adaptación a cambios climáticos en la región interandina.

Grijalva-Olmedo Jorge

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador.  
Jerónimo Leyton S/N y Gato Sobral, Quito, Ecuador. E-mail: jgrijalva@uce.edu.ec

## Resumen

El nuevo germoplasma forrajero disponible en el país, es cualitativamente muy diferente a los recursos forrajeros que hasta hace algunas décadas atrás se utilizaban en la región interandina (Grijalva, *et al.*, 1995). El nuevo germoplasma se caracteriza por ser de crecimiento precoz, muy exigente en fertilidad del suelo y requiere un manejo intensivo (Grijalva, *et al.*, 2013). Por tanto, puede ser más vulnerable ante fenómenos climáticos extremos tales como sequías, heladas, exceso humedad, vientos fuertes. De hecho, las cifras oficiales del MAGAP (2013) indican que a nivel nacional se producen aproximadamente 98'651.865 TM de pasto fresco al año, de cuya cifra se consume el 57,9% y no se aprovecha el 42,1%. En consecuencia, la eficiencia de utilización del forraje, rara vez supera el 60%. La evaluación de alternativas de pastoreo utilizando dos conceptos fundamentales: *Frecuencia e Intensidad de pastoreo*, son importantes para aportar a dos objetivos del nivel nacional: el primero, al desarrollo de una ganadería sostenible en la región interandina del país, y segundo, a generar nueva información y conocimiento para contribuir al Plan Nacional de Cambio Climático (MAE, 2013) e Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (MAE, 2010). Así, la ganadería puede contribuir a resolver algunos de los siguientes problemas prioritarios: (i) desertificación en las zonas sub-húmedas y semidesérticas que se usan extensivamente para el pastoreo, (ii) erosión en laderas, (iii) impactos del cambio climático, (iv) los esfuerzos para mitigar los efectos del ganado en el cambio climático se enfocan en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, (v) el ganado puede ayudar a las poblaciones rurales vulnerables a adaptarse a los efectos del cambio climático (FAO 2008; Grijalva *et al.*, 2011; MAE, 2011). Los resultados de la investigación en el país en los últimos diez años revelan que, el déficit de energía y el desbalance energía-proteína son probablemente los factores más limitantes de la producción del ganado bovino a pastoreo en las regiones interandina y tropical (Grijalva, *et al.*, 2011). Por consiguiente, el esfuerzo institucional debe enfocarse a investigar los tiempos óptimos de pastoreo para maximizar el potencial genético de los animales y la persistencia de las nuevas pasturas (Beltrán *et al.*, 2005; Grijalva, 2014), cuantificar desajustes nutricionales en distintos escenarios bioclimáticos, a fin de desarrollar estrategias de alimentación acordes con los recursos disponibles y en un marco de rentabilidad y conservación del capital natural.

**Palabras claves:** intensificación de pasturas, pastoreo, pasturas y ambiente





## RESUMENES DIA DE CAMPO

## **Nutrición de Alto Rendimiento para mantenimiento de Potreros**

Santiago Montesdeoca  
Gerente Técnico Asproagro

### **Resumen**

El programa de Nutrición de Alto Rendimiento (NAR) está desarrollado mediante la fusión de varias tecnologías con el objetivo de obtener mayor cantidad de biomasa y materia seca, dando como resultado mayores Unidades Adultas Bovinas (U. A. B.) por hectárea VS los tratamientos convencionales. Tecnologías nutrimentales. Las unidades de elementos minerales por hectárea (fertilizantes) son suplidas por Fertium Expertia con las marcas Durasop Elite, Durasop Complex

Fertilizantes de liberación selectiva. Tecnologías de regeneración y reacondicionamiento de suelo. El mal uso de fertilizantes, el constante pisoteo del ganado y factores climáticos generan en el suelo graves problemas de decarbonización. Humita 40 devuelve a los suelos las propiedades Físico-Químicas necesarias para restablecer las funciones básicas de los mismos. Tecnologías de fisioactivación. La variabilidad climática y el poco poder adaptativo de la mayoría de especies y variedades forrajeras a los diferentes sistemas de pastoreo son un reto que Goemar, empresa dedicada a la biotecnología se los toma muy en serio. Por tal motivo crearon los Fisioactivadores, sustancias que mejoran la señalización bioquímica dentro del vegetales haciéndolos más productivos aún en condiciones climáticas poco favorables.

## Evaluación de Especies forrajeras originarias del INIA-Uruguay

**Luis Fernando Rodriguez y Edwin Cruz**

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Programa de Ganadería y Pastos,  
Estación Experimental Santa Catalina Panamericana Sur Km. 1, Vía Tambillo, sector  
Cutuglagua. Telf. +593-2-3008750, Mejía, Ecuador.

### Resumen

Rye grass anual (*Lolium multiflorum*) cultivar INIA Estanzuela 284, es diploide, posee ciclo corto y una amplia adaptación. Fue obtenido en La Estanzuela por selección sobre materiales introducidos de Brasil. Se multiplica en USA bajo el nombre Gulf llegando a ser el cultivar más sembrado con el 50% del mercado americano. Alcanza alturas entre 25 a 30 cm. Es uno de los cultivares de floración más temprana en Uruguay y Argentina. Si bien Estanzuela 284 es susceptible a roya, pero por su floración temprana normalmente escapa a estas infecciones (INIA, 2010).

Rye grass anual (*Lolium multiflorum*) cultivar INIA Titán, es tetraploide, tipo multiflorum y de ciclo largo. Es de hábito intermedio a semi-erecto y posee muy buenos rendimientos de forraje. Fue obtenido en La Estanzuela por selección sobre el cultivar Estanzuela Matador y otros cultivares europeos. Fue el primer raigrás tetraploide de ciclo largo de uso masivo en Uruguay. Es un cultivar que ha mostrado excelente performance en Uruguay y Argentina. Tiene muy buen potencial de crecimiento y produce en promedio 25% más de forraje que Estanzuela 284 en el total anual, derivado principalmente de su ciclo más largo. INIA Titán tiene muy buena calidad de forraje y digestibilidad. Alcanza alturas entre 20 a 25 cm. Es un cultivar especialmente indicado para ser utilizado en las siguientes condiciones: 1) suelos de buen potencial y buenas condiciones de manejo, 2) explotaciones con altos requerimientos de valor nutritivo tales como explotaciones lecheras.

Pasto azul (*Dactylis glomerata*) cultivar INIA LE Oberón, es tardío, de hábito semierecto, posee muy buen vigor inicial, buena sanidad foliar y una excelente adaptación. Fue el primer cultivar de esta especie mejorado en el Uruguay. Es un cultivar sintético seleccionado en La Estanzuela por producción otoño-invernal, sanidad foliar y persistencia. Ha mostrado excelente adaptación en Uruguay y Argentina. Se adapta a un amplio rango de suelos desde arenosos a pesados aunque su mejor performance se obtiene en suelos de texturas medias y permeables. Alcanza alturas entre 22 a 25 cm. Es poco tolerante a

excesos hídricos por lo que no debe utilizarse en suelos húmedos mal drenados. Tiene buena resistencia a la sequía. No es exigente en fertilidad. (INIA, 2010).

Trébol blanco (*Trifolium repens*) cultivar INIA Estanzuela Zapicán, es de hoja grande, erecto, con floración temprana, rápido establecimiento, alta producción y muy buena adaptación. Fue obtenido en La Estanzuela a partir de introducciones realizadas de Argentina. Es un cultivar de hoja grande, erecto, con floración temprana y abundante. Supera en performance a la mayoría de los cultivares foráneos introducidos. Tiene abundante semillazón que asegura un banco de semillas adecuado para los años de buena resiembra. (INIA, 2010)

Trébol rojo (*Trifolium pratense*) cultivar INIA Estanzuela 116, no posee latencia, se adapta muy bien al pastoreo, posee alta producción de forraje, porte erecto y ciclo corto, tiene un excelente rebrote con rápida producción de tallos. Proviene de una selección sobre materiales introducidos de Nueva Zelanda. Es un cultivar diploide, de porte erecto a semierecto, de floración temprana y bianual. Posee una destacada precocidad y alta producción total. Su vida productiva es de dos años. Cuando el agua no es restrictiva, tiene buenas tasas de crecimiento. Se adapta mejor a suelos de texturas medias y pesadas con buena profundidad. Tiene altas tasas de crecimiento, hábito erecto y rápida elongación de tallos. Florece abundantemente y es capaz de producir buenos rendimientos de semillas (INIA, 2010).

Avena "INIAP 82" se caracteriza principalmente por tener un hábito de crecimiento erecto. La floración es a los 90 días, su estado lechoso es a los 130 días y la maduración comercial a los 180 días. La planta tiene un buen macollaje, su altura es de 1.40 metros con tallos gruesos y hojas laminares largas. La inflorescencia por lo general se produce a media panoja, su grano es grande y amarillo oro con un peso promedio de 32 gramos las 1000 semillas y un peso hectolitrito de 50.7 kg hl<sup>-1</sup>. A nivel nacional el rendimiento promedio se encuentra en 1900 kg ha<sup>-1</sup> para grano con una oscilación de rendimiento entre 1500 a 3800 kg ha<sup>-1</sup> y de 34000 kg ha<sup>-1</sup> para forraje. La variedad 'INIAP—82' presenta una aceptable tolerancia a las royas causada por los hongos *Puccinia graminis*, *Puccinia coronata* como también al enanismo amarillo (BYDV), consideradas como las enfermedades más peligrosas para el cultivo de avena en las áreas del callejón Interandino. Rye Grass "Pichincha" es una nueva variedad de rye grass italiano (*Lolium multiflorum*) obtenida por el INIAP, en la Estación Experimental "Santa Catalina", para formación de pastizales, tanto permanentes como temporales. El proceso de formación de esta variedad duró 15 años bajo diferentes condiciones medio ambientales de las áreas ganaderas de la Sierra ecuatoriana. La variedad Rye grass, INIAP Pichincha presenta las siguientes características: el ciclo vegetativo es de dos años, con intervalo de cosecha de 35 a 60 días

si se usa como forraje y de 120 días si es para producción de semilla. La altura de planta es de 120 a 150 centímetros, teniendo una alta relación entre hojas y tallo, cuya capacidad de macollamiento y rebrote son excelentes. La espiga es de forma delgada y barbada, con 10 a 20 florecillas por espiguilla. La semilla es amarillenta pajiza, alargada y barbada, que puede medir de 6 a 7 milímetros de largo por 1 milímetro de ancho. El peso de 1000 semillas varía de 2 a 3.5 gramos. El rendimiento es de 400 a 700 kg ha<sup>-1</sup> (8.5 - 15 qq ha<sup>-1</sup>) de semilla y de 3 a 4 toneladas métricas por corte de materia seca. Presenta excelente poder germinativo. El contenido de proteína varía de 14 a 16% a los 35 días. Es resistente a royas (*Puccinia* spp. y *Helmintosporium* spp.) Adicionalmente posee buena capacidad de asociación con otras especies forrajeras y persistencia bajo pastoreo o corte.

INIAP “Cañicapa 2003” Variedad de cebada de dos hileras, grano grande y ovalado, contenido de proteína de 13,99 por ciento, desarrollada por el Programa de Cebada y Trigo del INIAP para la Sierra sur. Proviene de la cruce de la Var. INIAP Shyri 89 con la línea GAL/P/PI6384//ESCII-II-72-607-1E-1E-1E-5E. Las características morfológicas son: Altura de planta 110 - 130 cm; Numero de hileras 2; Numero de macollos 8-10; Tallo tolerante al vuelco; Numero de granos por espiga 30; Tipo de espiga barbada; Densidad de espiga compacta; Color de espiga amarillo claro; Color de aleurona blanco; Color de grano amarillo claro; Forma de grano oblongo; Peso de 1000 granos 62 g; Tipo de grano cubierto. En Ciclo vegetativo presenta los siguientes rangos: Días al espigamiento 85-90; ciclo vegetativo 170-180; Rendimiento 3-5 t/ha. La variedad es recomendada para las zonas cerealeras en altitudes de 2400 a 3200 msnm. Es resistente a las siguientes enfermedades: roya amarilla *Puccinia striiformis*, roya de la hoja; *Puccinia hordei*, escaldadura *Rhynchospodium secalis*; fusarium *Fusarium sp*; carbón desnudo *Ustilago sp*. Las características de calidad en porcentaje (al 14 por ciento de humedad) son: Cenizas 2,36; Extracto etéreo 1,53; Proteína 13,99; Fibra 5,65; Extracto libre de nitrógeno 62,47; Almidón 46,84; Rendimiento harinero 65.

Línea Avanzada Triticale 2000 (X *Triticosecale Wittmack*) es un híbrido que resulta de la cruce de trigo con centeno, combinando las mejores características de sus dos progenitores, como son el potencial de rendimiento del trigo y la rusticidad y tolerancia a factores abióticos adversos de centeno. Este grano se lo utiliza en la alimentación animal, existiendo ya en el país experiencias positivas utilizando el grano en mezclas de

concentrados para ganado lechero. La cruce e este material fue realizada en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las características son las siguientes: floración 60 a 83 días; altura de planta 90-120 cm; longitud e espiga 12-15 cm; Número de granos por espiga 63-90; Espiga blanca barbada; color de grano rojo; Tallo resistente al vuelco; Rendimiento 3- 5 toneladas; peso de 1000 granos 42-50 g. Es resistente a las siguientes enfermedades: roya amarilla *Puccinia striiformis*, roya de la hoja; *Puccinia hordei*, fusarium *Fusarium sp*; carbón desnudo *Ustilago sp*.

# Ventajas del Uso de los “High sugar grasses” en la lechería Ecuatoriana

**Carlos Puente**  
**Gerente Tecnico Agrosad**

## Resumen

Albion (*Lolium perenne*) es un Ryegrass Tetraploide Perenne con altos contenidos de azúcares. Es una variedad que ha revolucionado el pensamiento sobre el uso de ryegrasses en zonas de establecimiento complejo. Entre sus principales características destaca su alta resistencia a la sequía y su alto valor nutricional (Proteína, 21%; Fibra detergente Neutra, 37%), lo cual se ve reflejado en el incremento de producción. Albion tiene la capacidad de prosperar en zonas no tradicionales para ryegrass. Esta variedad ha remodelado completamente los mapas de adaptabilidad productiva.

Achicoria forrajera (*Chicorium sp*) Variedad Spadona. Es un forraje de origen europeo, posee gran adaptabilidad; lo que le permite cultivarse en múltiples condiciones medio ambientales. Posee un alto valor proteico, es rústica, resistente a insectos y compite muy bien con malezas.

Reacciona muy bien a la fertilización nitrogenada; requiere suelos de mediana a alta fertilidad a

partir del segundo año de cultivo. Alta palatabilidad y resistente al pastoreo, Antiparasitario, tónico estomacal y diurético

Bandito 2 (*Lolium boucheanum*) Ryegrass Tetraploide Híbrido. Es un forraje híbrido que conjuga las mejores cualidades de sus predecesores; una de ellas es la precocidad, que sumada a

una buena persistencia convierten a esta variedad en una gran alternativa para la realización de verdes tempranos y praderas para pastoreos intensivos. Posee una digestibilidad incomparable dentro de híbridos de su clase; esto se traduce en un incremento en los parámetros de producción (ganancia de peso, producción lechera). Responde de forma excelente a fertilizaciones nitrogenadas .

Spring Green *Festulolium* (*Lolium multiflorum x Festuca arundinacea; Híbrido*). Es una especie que se adapta bien a múltiples condiciones y regiones, que dependiendo de la época del año tienden a ser demasiado húmedas o secas. Su prominente sistema radicular brinda a esta variedad una robustez incomparable. Es altamente resistente a enfermedades foliares y posee una buena palatabilidad, responde bien al pastoreo intensivo. Es un arma de producción constante que responde bien pese a limitantes medio ambientales y edáficas.

Grazmore, Mezcla de ryegrasses perennes con altos contenidos de azúcares. Es una composición de variedades con altos contenidos de azúcares que poseen una gran respuesta



en producción de leche y ganancia de peso, sin embargo, la característica especial que diferencia a Grazmore, es su amplia adaptabilidad a diferentes tipos de suelo y ambientes. Su rusticidad y persistencia son características que posicionan a esta mezcla como una de las mejores armas para alcanzar niveles productivos elevados en la ganadería intensiva.

*Llantén Hércules (Plantago major)* posee un crecimiento semi-erecto, y su mayor cualidad es que su florecimiento es significativamente más tardío que todas las variedades presentes en el mercado ecuatoriano. Posterior a la floración el índice de defoliación es bajo, además mantiene su calidad y sobre todo su palatabilidad. Produce una raíz larga y fibrosa con un anclaje prominente, esto le permite soportar de forma excelente épocas críticas del año, además le brinda la capacidad de extraer minerales importantes del suelo. Contiene altos niveles de antocianinas que ayuda en el rendimiento del animal.

*Lonestar (Lolium multiflorum)* es Ryegrass Diploide BIANUAL. Es un forraje muy tolerante al frío y altamente resistente a enfermedades, su establecimiento es sumamente agresivo complementado con un gran poder de rebrote, posee maduración intermedia convirtiéndolo en una especie que se adapta bien a pastoreos continuos, o procesos de conservación. Su genética diploide permitirá que se deshidrate más rápido que variedades tetraploides en procesos de henificación.

*Quick Draw (Dactylis glomerata)* Pasto azul. Mediante selección y desarrollo genético Quick Draw fue escogido por ser una especie de rápido rebrote, rendimientos superiores a otras variedades de su especie y su inigualable palatabilidad. Excelente tolerancia a veranos sumamente fuertes; la persistencia de Quick Draw es un atributo garantizado. Se conjuga bien con otras especies forrajeras, aportando una dinámica excepcional a la pastura. Los rendimientos que podemos alcanzar con Quick Draw están muy por encima de lo que podría aportar cualquier otra variedad de pasto azul del mercado nacional.

*SWEET'NER*, Mezcla de ryegrasses perennes con altos contenidos de azúcares. Es una composición de variedades con altos contenidos de azúcares; adaptadas a pastoreos intensivos en diversos tipos de ambientes. Sweet'ner se ratifica como uno de los forrajes con mayor respuesta a la producción de leche, además de aportar en un correcto equilibrio fisiológico de los animales. Responde muy bien a fertilizaciones nitrogenadas y su prominente persistencia hacen que la pradera responda con buenos índices a través de todo un ciclo productivo.

*Tetrastar, Ryegrass Tetraploide Anual (Lolium multiflorum)*. Es un ryegrass tolerante al frío con gran agresividad para el establecimiento y rebrote, posee una palatabilidad formidable; esto se traduce en mayor ganancia de peso y producción lechera. Es muy resistente a enfermedades típicas de los forrajes, su maduración es intermedia y puede ser usado para pastoreo directo o procesos de conservación.

*Tetraverde, Ryegrass Tetraploide Perenne (Lolium perenne)*. Es un forraje que fue desarrollado para soportar condiciones complejas de frío y sequía. Estas características han permitido que su macollamiento sea constante y por ende su persistencia sea superior. Tetraverde produce forraje de gran calidad nutricional, y su gran adaptabilidad permite que se cultive en múltiples condiciones y lugares.

# Pastos mejorados para producción eficiente de leche

Jorge Alvarez  
Gerente Técnico El Agro

## Resumen

Las empresas ganaderas de producción de leche modernas requieren márgenes de utilidad significativos a través del tiempo. Dentro de los factores que tienen un impacto en la rentabilidad del negocio está la producción eficiente de altas cantidades de leche. Existen alternativas de especies y variedades de semillas de pastos de clima templado que ayudan a mantener esa producción eficiente. A continuación un ejemplo de las variedades que están presentes en la Sierra del Ecuador y sus principales características.

Forage Max (*Lolium hybridum* + *Lolium perenne* + *Lolium multiflorum* + *Festulolium Brauni*) Mezcla de ryegrass híbrido + 2 ryegrasses perennes (4n) + ryegrass bianual + *Festulolium* muy resistentes a enfermedades. Excelente palatabilidad y alta digestibilidad por su concentración alta de azúcares. Forage Max es resistente al pisoteo.

Dairy grass (*Lolium hybridum*) Ryegrass híbrido (4n). Esta cruce genética de ryegrass anual y perenne es altamente agresivo en términos de vigor, rendimiento y rebrote. Este híbrido tolera moderadamente suelos ácidos y se mantiene productivo bajo condiciones deficientes de drenaje. Es recomendado su uso para pastoreo rotacional, henificación y ensilaje.

Perseus (*Festulolium Brauni*) *Festulolium* (4n) tipo *lolium*. Es una cruce entre Ryegrass italiano y festuca perteneciente al tipo ryegrass de los *festuloliums*. El resultado es una variedad con un buen vigor de crecimiento y al mismo tiempo una buena persistencia. El valor nutricional y la concentración energética es muy alta.

Matilde (*Lolium perenne*) Ryegrass perenne (4n). Posee un valor nutricional elevado (PC=22%), se adapta desde los 2000 hasta los 3600 msnm. Es altamente tolerante a la roya y su uso principal es para pastoreo.

Calibra (*Lolium perenne*) Ryegrass perenne (4n). Es uno de los pastos mas vendidos a nivel mundial. De rápido establecimiento y buena cobertura. Alto en azúcares, con buena palatabilidad y excelente adaptación a suelos de mediana fertilidad.

Florida (*Lolium multiflorum*) Ryegrass anual (4n). Posee un valor nutricional elevado (PC=22%), se adapta desde los 2000 hasta los 3500 msnm. Es altamente tolerante a la roya y su uso principal es para corte.





Con el auspicio de:

CON EL AUSPICIO DE:



CON EL APOYO DE:



Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura



# IMPACTO HUMANO SOBRE LA DIVERSIDAD DE MAMÍFEROS EN TIERRAS SECOYAS, AMAZONÍA ECUATORIANA

Stella de la Torre\*<sup>1,2</sup>    Hernán Payaguaje<sup>3</sup>

1 Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, USFQ.

2 Fundación VIHOMA.

3 Nacionalidad Secoya.

## Resumen

Para evaluar el impacto de la cacería sobre la diversidad de mamíferos en las tierras Secoya, al nororiente del Ecuador, utilizamos una metodología no invasiva basada en el uso de “trampas de cámara” ubicadas en bosques a diferentes distancias de los asentamientos Secoya desde abril a diciembre 2006. Registramos un total de 20 especies de mamíferos pertenecientes a 14 familias. Las especies con mayor número de registros fueron la guatusa *Dasyprocta fuliginosa*, el sahino *Pecari tajacu* y la guanta *Agouti paca*. La diversidad de especies, estimada por el número de especies registradas por mes, fue significativamente menor en bosques cerca de asentamientos humanos que en bosques alejados de los asentamientos. Presentamos también datos preliminares de la abundancia relativa de las especies y de sus patrones de actividad diaria y estacional. El carácter participativo de la investigación ha facilitado la toma de conciencia por parte de los Secoya sobre los impactos negativos de la cacería y será un pilar importante para el desarrollo de un programa de manejo de cacería eficaz y adecuado a su realidad ambiental y cultural.

**Palabras Clave.** Amazonía ecuatoriana, cacería, diversidad, mamíferos

## Introducción

Los estudios de campo sobre la diversidad de mamíferos en varios ecosistemas han sido usados para evaluar los efectos de algunos factores ambientales sobre la estructura de las comunidades biológicas [1, 2, 3]. Uno de estos factores de creciente importancia en la actualidad en los bosques tropicales es la cacería [4, 5, 6]. El incremento de la presión de cacería sobre los mamíferos amazónicos está influido por el mayor contacto de las nacionalidades indígenas con la cultura occidental (relacionado principalmente con el uso de armas de fuego) y por el incremento de las poblaciones humanas en la región [7, 8].

La cacería, ya sea comercial o de subsistencia, no solo reduce la diversidad de especies en un área, si no que afecta también al comportamiento de las especies cazadas; éstas tienden a hacerse más tímidas y cautelosas y a evitar los encuentros con seres humanos [4]. Estos cambios en el comportamiento dificultan considerablemente la realización de estudios para evaluar los impactos de este factor pues los animales son raramente observados aun cuando estén presentes en el área. Una herramienta importante para solucionar este problema es el uso de trampas de cámara. Esta metodología no invasiva permite registrar la presencia de especies nocturnas y poco conspicuas de mamíferos y es ideal en áreas donde la cacería ha afectado al comportamiento de los animales [9,10].

De las 40 000 ha que constituyen las tierras Secoya en la Amazonía norte del Ecuador, la mayoría ha sido alterada por actividades humanas. Las tierras Secoya están rodeadas de campos petroleros cuya actividad ha contaminado los ríos y ha facilitado el ingreso de colonos, incrementando las tasas de deforestación. Para agravar la situación, en los

límites de esta área existe un complejo industrial, con alrededor de 20 000 ha de palma africana. Sumados a estos factores externos, están el continuo crecimiento de la población Secoya y su inserción en la civilización occidental y en sus patrones de consumo [11] presentadas en el párrafo anterior, teníamos evidencia de que la presión de cacería debía también contribuir a la reducción de la biodiversidad en los bosques Secoya por lo que, en un programa de investigación participativa con los miembros de la Nacionalidad Secoya que iniciamos en el año 2006 y 2007 nos propusimos cuantificar el impacto de esta actividad [11]. En este estudio evaluamos la influencia de la cacería y la presencia humana sobre la diversidad de mamíferos mediante el uso trampas de cámara colocadas en bosques a diferentes distancias de los asentamientos Secoya; esperábamos encontrar una mayor diversidad de especies registradas en las cámaras más alejadas. Al utilizar una metodología no invasiva, esperábamos también tener información confiable sobre los patrones de actividad, diaria y estacional, de la especies de caza con el fin de desarrollar un plan de manejo de la cacería en las tierras Secoya.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio se ubicó en los bosques de varzea -bosques inundados por ríos de aguas blancas, y de tierra firme - bosques no inundados sobre pequeñas colinas [12], de la comunidad Secoya Siecoya Remolino (Sehuaya). El bosque de varzea se ubicó en la orilla norte del río Aguarico, en tierras Secoya dentro de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno. El bosque de tierra firme se ubicó en la orilla sur del río Aguarico [9].

### Métodos

Para este estudio utilizamos trampas de cámara, esto

es, cámaras con sensores infrarojos y de movimiento para registrar en imágenes fotográficas la presencia de mamíferos terrestres. El monitoreo fotográfico de las especies se realizó diariamente en las dos épocas climáticas del año, desde abril hasta agosto de 2006 en la época lluviosa, y desde septiembre a diciembre de 2006 en la época seca. Ocho cámaras se ubicaron en hábitats con diferente presión de cacería, cerca (aprox. 500 m) y lejos (aprox. 1000 m) de asentamientos humanos, bajo el supuesto que la presión de cacería era mayor cerca de los asentamientos, en los dos tipos de bosque [9].

Las cámaras fueron revisadas y los rollos retirados cada 15 días para evitar que la condensación de la humedad ambiental afectara a las películas. Una vez reveladas, las fotografías fueron digitalizadas e identificadas con ayuda de los parabiólogos Secoya y de guías de campo especializadas [13, 14]. Con estos resultados determinamos la riqueza de especies de mamíferos en áreas cerca y lejos de asentamientos humanos en los dos tipos de bosque. Las comparaciones de la diversidad de mamíferos registrados en las cámaras cerca y lejos de los asentamientos humanos fueron realizadas con pruebas de t pareadas (StatView SE). Gracias a la información incluida en cada fotografía sobre la hora a la que fue tomada, pudimos también conocer los patrones de actividad diaria de las especies. Así mismo, estimamos los patrones estacionales de actividad con base en el número de meses en que cada especie fue registrada.

### Resultados

Al identificar los 219 registros fotográficos de las cámaras ubicadas en tierra firme y en varzea obtuvimos un total de 20 especies de mamíferos pertenecientes a 14 familias (Tabla 1). La especie con mayor número de registros en los dos tipos de bosque fue la guatusa *Dasyprocta fuliginosa* (50 registros), seguida por el sahino *Pecari tajacu* (34) y la guanta *Agoutipaca* (31). Seis especies, de 5 familias, fueron registradas una sola vez (Fig 1).

Especie	Familia
<i>Marmosa</i> sp.	Didelphidae
<i>Mazama americana</i>	Cervidae
<i>Mazama gouazoubira</i>	Cervidae
<i>Pecari tajacu</i>	Tayassuidae
<i>Speothos venaticus</i>	Canidae
<i>Atelocynus microtis</i>	Canidae
<i>Herpailurus yagouaroundi</i>	Felidae
<i>Leopardus pardalis</i>	Felidae
<i>Eira barbara</i>	Mustelidae
<i>Nasua nasua</i>	Procyonidae
<i>Procyon cancrivorus</i>	Procyonidae
<i>Dasyypus novemcinctus</i>	Dasypodidae
<i>Cabassous unicinctus</i>	Dasypodidae
<i>Myrmecophaga tridactyla</i>	Myrmecophagidae
<i>Cebus albifrons</i>	Cebidae
<i>Agoutipaca</i>	Agoutidae
<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	Dasypodidae

<i>Myoprocta acouchi</i>	Dasypodidae
<i>Proechymis</i> sp.	Echymidae
<i>Sciurus igniventris</i>	Sciuridae

Tabla 1. Especies de mamíferos registradas en las trampas de cámara en tierras Secoya (Abril - Diciembre 2006)

La abundancia de cada una de las especies no fue uniforme a lo largo del estudio. Del total de especies “capturadas” en las fotografías, solamente una, la guanta, fue registrada en todos los meses [9]. El armadillo de nueve bandas *Dasyypus novemcinctus* y la guatusa fueron registrados en 8 y 7 de los meses de estudio, respectivamente. Siete especies de 6 familias fueron registradas solamente en uno de los meses de estudio (Fig 1).

Al comparar la diversidad de especies, estimada por el número de especies registradas por mes, en sitios cerca de asentamientos humanos - donde se espera una mayor presión de cacería - y sitios alejados de los asentamientos - donde se espera una menor presión de cacería - encontramos diferencias significativas para las comunidades de mamíferos en los dos tipos de bosque (promedio de especies registradas por mes en tierra firme cerca = 2.3 especies  $\pm$  0.9, promedio en tierra firme lejos = 4.4 especies  $\pm$  0.5; t pareado (8) = -3.0, p = 0.01; promedio en varzea cerca = 2.2 especies  $\pm$  1.0, promedio en varzea lejos = 4.2 especies  $\pm$  0.6; t pareado (8) = -2.9, p = 0.02)(Fig2).

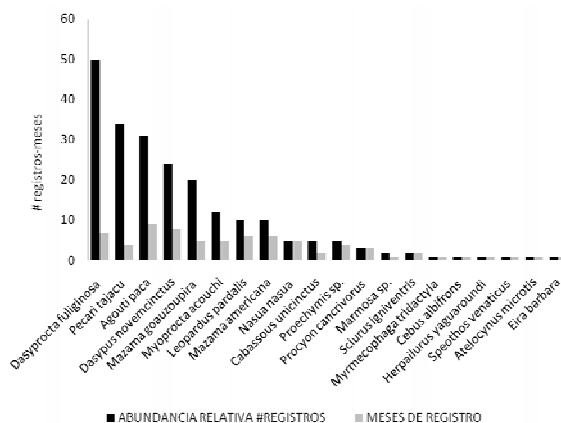
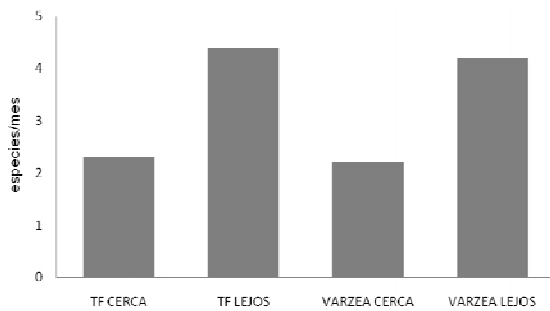
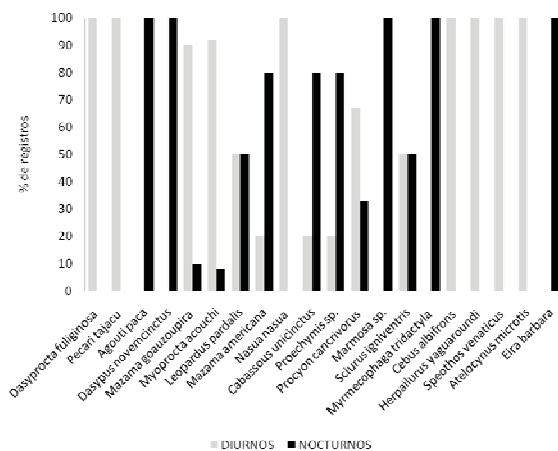


Figura 1. Abundancia relativa (total de registros) y variación mensual-estacional (total de meses con registros) de las especies de mamíferos en tierras Secoya

Las horas a las cuales se tomaron las fotografías de los animales nos permitieron estimar los patrones de actividad diaria de las especies; algunas de ellas, como la guatusa y el sahino fueron registradas exclusivamente durante el día (06h00-18h00). Otras especies, como la guanta y el armadillo de nueve bandas, fueron registradas exclusivamente durante la noche (19h00-05h00). Finalmente, especies como el venado cenizo, *Mazama gouazoubira*, y el venado rojo *M. americana* fueron registradas tanto en el día como en la noche; sin embargo, la primera tuvo más registros diurnos mientras que la segunda tuvo más registros nocturnos (Fig 3).



**Figura 2.** Diversidad de mamíferos (promedio de especies registradas por mes) cerca y lejos de asentamientos Secoya en bosques de tierra firme y varzea.



**Figura 3.** Patrones de actividad diurna y nocturna (% de registros diurnos vs. nocturnos) de las especies registradas

Gracias al uso de esta metodología no invasiva, pudimos determinar los meses de reproducción de algunas especies de caza como la guanta, fotografiada con cría en el mes de mayo, y de otras especies raras, como el banderón *Myrmecophaga tridactyla*, fotografiada apareándose en el bosque de varzea, en el mes de septiembre.

### Discusión

Tradicionalmente, los Secoya fueron un pueblo de cazadores-recolectores que se movían por extensas áreas de bosque [15]. En la actualidad, el área disponible para los Secoya se ha reducido considerablemente, la población está aumentando y los métodos ancestrales de cacería, basados en el uso de cerbatanas y lanzas, han sido reemplazados por armas de fuego. Como consecuencia, la presión de cacería es cada vez mayor y está reduciendo la diversidad de mamíferos en los bosques, como evidenciamos en este estudio. Estos resultados son una alerta que debe ser usada por la Nacionalidad Secoya para regular esta actividad en el corto plazo y evitar así que sus bosques sean ecosistemas “vacíos” de los cuales los grandes animales hayan desaparecido y, con ellos, las funciones ecológicas que cumplían, un fenómeno ya observado en varios bosques tropicales del mundo [5]. Entre las funciones ecológicas que pueden perderse con la pérdida de los mamíferos está, por ejemplo, la dispersión de semillas, afectando así a la composición y estructura

de los bosques a largo plazo [16]. La pérdida de estas funciones puede darse aun sin la completa desaparición de las especies de mamíferos, si sus poblaciones son demasiado pequeñas estas especies no podrán interactuar significativamente con el resto de elementos del ecosistema y estarán “ecológicamente extintas” [5].

La metodología no invasiva utilizada fue fundamental para asegurar la confiabilidad de los resultados de esta investigación. Al causar el menor impacto posible a individuos y poblaciones con una alta sensibilidad a la presencia humana como resultado de una continua presión de cacería, logramos registrar una muestra representativa de la diversidad de mamíferos en las zonas de estudio. Obtuvimos también datos preliminares de la abundancia relativa de las especies y de sus patrones de actividad diaria y estacional. Es importante destacar que la especie más abundante fue la guanta *Dasyprocta fuliginosa*, un roedor de mediano tamaño que no suele ser cazado donde todavía existen poblaciones de guanta *Agouti paca*, un roedor más grande y de carne más apreciada. En lugares donde la población de guanta ha disminuido significativamente, la cacería se centra en la guanta [9]. En la segunda fase de esta investigación, iniciada en abril de 2008, estudiaremos los mamíferos de zonas históricamente más afectadas por la cacería en tierras Secoya para determinar cuál es la abundancia relativa de estas dos especies de roedores en los hábitats más degradados y comparar estos nuevos resultados con los presentados ahora.

El carácter participativo de la investigación, en la cual los datos fueron recopilados y analizados por parabiólogos Secoya a lo largo de aproximadamente un año, ha facilitado la toma de conciencia sobre los impactos negativos de la cacería. En nuestro trabajo con la nacionalidad Secoya, hemos podido constatar la gran importancia que ellos dan al material fotográfico y de su impacto positivo para atraer la atención de las personas hacia las especies registradas. Este impacto es una base importante para actividades de sensibilización y educación ambiental y fue reforzado con la publicación de algunos resultados de este estudio en el libro “Caminando en el sendero, hacia la conservación del ambiente y la cultura Secoya” [11]. Los nuevos resultados que obtendremos en la segunda fase de este estudio y que compararán la diversidad de mamíferos en áreas con diferente presión de cacería, tanto en el pasado como en el presente, facilitarán a los miembros de la Nacionalidad Secoya desarrollar un programa de manejo de cacería eficaz y adecuado a su realidad ambiental y cultural.

### Agradecimientos

Agradecemos a Pablo Yépez por su constante apoyo y motivación y a todos los parabiólogos Secoya por su valioso trabajo en este estudio, a Alfredo, Patricio, Magali, Jenny, Margot, César, Gustavo, Néiser, Lidia, Nancy, Erico, Roberto, Gilberto, Ailmer, Maribel, Mireya, Bartolo, Manolo, Olivero, José Euclides y Mariela, muchas gracias. Esta investigación fue financiada por el EcoFondo/FAN, Fundación VIHOMA



y Proyecto CAIMAN/USAID, con el permiso de investigación del Ministerio del Ambiente No. 001-IC-FAU-DRSO-MA-2006.

*adaptación al ambiente amazónico*. Editorial Abya-Yala, Quito

16. Howe, H.F. 1984. Implications of seed dispersal by animals for tropical reserve management. *Biological Conservation* 30: 261-281

### Referencias bibliográficas

1. Kinnaird, M.F.; Sanderson, E.W.; O'Brien, T.G.; Wibisono, H.T.; Woolmer, G. 2003. Deforestation Trends in a Tropical Landscape and Implications for Endangered Large Mammals. *Conservation Biology* 17: 245-257
2. Main, M. B.; Richardson, L. W. 2002. Response of wildlife to prescribed fire in southwest Florida pine flatwoods. *Wildlife Society Bulletin* 30: 213-221
3. Te Wong S.; Servheen, C.; Ambu, L.; Norhayati, A. 2005. Impacts of fruit production cycles on Malayan sun bears and bearded pigs in lowland tropical forest of Sabah, Malaysian Borneo. *Journal of Tropical Ecology* 21: 627-639
4. Peres, C.A. 1990. Effects of Hunting on Western Amazonian Primate Communities. *Biological Conservation* 54(1): 47-59
5. Redford, K. 1992. The empty forest. *Bioscience* 42: 412-422
6. Redford, K.; Robinson, J.G. 1987. A game of choice: patterns of indian and colonist hunting in the Neotropics. *American Anthropologist* 89: 650-667
7. Cincotta, R.P.; Wisnewsli, J.; Engelman, R. 2000. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature* 404: 990-992
8. WCS 2006. Efectos de las carreteras sobre la fauna silvestre en el Parque Nacional Yasuní.. WCS Programa Ecuador. Boletín 1
9. de la Torre, S.; Payaguaje, H.; Payaguaje, P.; Payaguaje, A. 2007. Investigación participativa y conservación de la fauna en tierras Secoya. En: *Caminando en el sendero, hacia la conservación del ambiente y la cultura Secoya*. S. de la Torre y P. Yépez (eds). Fundación VIHOMA. Quito. pp. 77-90
10. Pinto, L.C.; Andriolo, A. 2005. Camera traps used on the mastofaunal survey of Araras Biological Reserve, IEF-RJ. *Revista Brasileira Zoociências Juiz de Fora* 7: 231-246
11. de la Torre, S., Yépez, P. (eds). 2007. *Caminando en el sendero, hacia la conservación del ambiente y la cultura Secoya*. Fundación VIHOMA. Quito.
12. Palacios, W.; Cerón, C.E.; Valencia, R.; Sierra, R. 1999. Las Formaciones Naturales de la Amazonia del Ecuador. En: *Propuesta Preliminar de un Sistema de Clasificación de Vegetación para el Ecuador Continental*. R. Sierra (ed.). Quito. pp. 109-119
13. Emmons, L.H.; Feer, F. 1990. *Neotropical rainforest mammals, a field guide*. 1era. Edición. The University of Chicago Press, Chicago
14. Tirira D. 1999. *Mamíferos del Ecuador*. Museo de Zoología (QCAZ) / Centro de Biodiversidad y Ambiente / Pontificia Universidad Católica del Ecuador / SIMBIOE. Quito
15. Vickers, W. 1989. Los *Sionas* y *Secoyas*, su

## Dietary habits of the Hairy Big-eared Bat (*Phyllostomidae*, *Micronycteris hirsuta*) based on insect remains at a roost site

Kelly Swing<sup>\*1,2</sup> and Jaime Guerra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales.  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá  
Edificio Cicerón, Tiputini Biodiversity Station  
Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador

<sup>2</sup>Boston University, Department of Biology and Center for Ecology and Conversation Biology  
Boston, Massachusetts, USA

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: kswing@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 07/12/2012. Aceptado/Accepted: 07/14/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

Hairy Big-eared Bats, *Micronycteris hirsuta*, have been observed to occupy attics in buildings that are not well sealed. Stereotypically, prey is brought to the roosting site for consumption where wings and hard structures are discarded while soft body parts are ingested. This behavior has allowed our evaluation of their diet. At the Bosque Protector La Hesperia, of the western Andes in Ecuador, this species consumed primarily katydids (Orthoptera, Tettigoniidae) and soft beetles (Coleoptera, Scarabaeidae, Melolonthinae).

**Keywords.** Big-eared Bats, *Micronycteris*, diet, insects, beetles, katydids

### Abstract

El murciélago orejudo peludo, *Micronycteris hirsuta*, ha sido observado en el ático de un edificio con aperturas alrededor del techo. Su comportamiento estereotípico incluye el regreso al sitio de descanso con las presas antes de consumirlas. Al llegar, las alas y otras partes duras son descartadas. Como estas partes se acumulan debajo de ellos, es posible determinar la composición de lo que consumen. En el Bosque Protector La Hesperia, en el oeste de los Andes del Ecuador, *M. hirsuta* consume principalmente grillos de la familia Tettigoniidae (Orthoptera) y escarabajos suaves (Coleoptera, Scarabaeidae, Melolonthinae).

**Palabras Clave.** Murciélago orejudo peludo, *Micronycteris*, dieta, insectos, grillos, escarabajos

As a genus, the Little Big-eared Bats (*Micronycteris* spp.) have a broad range extending across much of the New World Tropics. They represent only a tiny portion of a huge chiropteran fauna in tropical America. Few species are well studied but some generalizations have been published for the genus. Their diet was described as including “large insects and occasional fruit”; “they forage by gleaning... cockroaches, dragonflies, and katydids from the vegetation or ground” [1]. The list of insects consumed was later augmented to include cicadas, moths, and caterpillars [2]. Habitat preferences have been described as “deep rainforest” where “they tend to fly along streams, gullies and paths well shaded by the forest canopy.” Emmons [1] goes on to categorize their roosts as occurring in “damp hollows near the

ground”, including “hollow logs or trees, cavities under roots, fallen logs, overhanging dirt banks, and culverts”.

As a species, *Micronycteris hirsuta*, also known as the Crested Big-eared Bat due to the elongate pelage of its crown, reportedly occurs in both eastern and western lowlands of Ecuador from 50 to 1800 m [2]. In relation to overall habitat occupation, we observed this species at a typical cloud forest elevation (1380 m) on the western Andean slope well within reported altitudinal limits. In other aspects however, our observations exhibit several discrepancies with published information. Although Tirira [2] includes abandoned buildings as possible roost sites, use of structures with human presence has not been previously documented. Here we report a colony of 3 to 4 individuals roosting in a

ISSN 1390-5384





**Figure 1: Little Big-eared Bat (*Micronycteris hirsuta*)**

second-floor rarely-opened closet inside an irregularly inhabited house within the Bosque Protector La Hesperia (00°21'07.7"S, 78°51'08.6"W). This small colony has been present for at least 7 years, during which time the remains of thousands of prey items have, on occasion, accumulated on the floor below them. The farmhouse in which the colony was observed is situated in a large open area surrounded by pastures and scattered infrastructure associated with a small-scale dairy operation. Although expansive intact forests are accessible, these individuals would have to fly between 200 and 300m in treeless areas to reach them. The nearest stream is estimated to be approximately 500 m from the roost site.

To determine diet, we counted three random samples of 100 discarded wings accumulated on the floor below the bats at this site. On average, *M. hirsuta* consumed 69.7% orthopterans (59.3% katydids, Tettigoniidae and 10.3% grasshoppers, Acrididae) and 30.3% scarabs with rather soft elytra (Coleoptera, Scarabaeidae, Melolonthinae), all of which could be gleaned from weedy pastures. Discarded grasshopper hemi-elytra (acridids similar to *Schistocerca* spp.) coincide with common inhabitants of such pastures, implying that these bats may be feeding in open areas rather than dense forest. Katydids and scarabs similar to those represented in discard piles appeared in cursory nocturnal visual surveys of these habitats as well. No cockroach or dragonfly wings were discovered among the accumulations below this colony and there was no indication of fruit consumption (i.e. no presence of seeds, fragments of peels or stems whatso-

ever).

### References

- [1] Emmons, L. 1997. "Neotropical rainforest mammals: a field guide." U. Chicago Press: Chicago, IL.
- [2] Tirira, D. 2007. "Mamíferos del Ecuador: Guía de campo." Ediciones Murciélago Blanco: Quito, Ecuador.

**Opportunistic consumption of placenta in the endemic Rice Rat (*Cricetidae, Aegiolomys galapagoensis bauri*) on the island of Santa Fe, Galapagos**

**Kelly Swing<sup>\*1,2</sup> and Jaime Guerra<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales.  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá  
Edificio Cicerón, Tiputini Biodiversity Station.  
Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador

<sup>2</sup>Boston University, Department of Biology and Center for Ecology and Conversation Biology  
Boston, Massachusetts, USA

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: kswing@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 07/12/2012. Aceptado/Accepted: 07/14/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

**Abstract**

The endemic rice rat *Aegiolomys galapagoensis bauri* on the island of Santa Fe in the central part of the Galapagos Archipelago has been observed to consume the placenta of the Galapagos Sea lion (*Zalophus wollebacki*). This diurnal scavenging undoubtedly represents a means of obtaining proteins for a small mammal that typically specializes on a diet of plant material.

**Keywords.** Rice rat, *Oryzomys*, placenta consumption

**Resumen**

La rata endémica *Aegiolomys galapagoensis bauri* de la Isla Santa Fe en el centro del Archipiélago de Galápagos fue observada consumiendo la placenta de un lobo marino (*Zalophus wollebacki*). Para un mamífero pequeño que consume principalmente materia vegetal, la posibilidad de aprovechar una fuente de proteínas concentradas debe ser una oportunidad valiosa.

**Palabras Clave.** Rata de arroz, *Oryzomys*, consumo de placenta



**Figure 1:** Santa Fe rice rat chewing on a recently expelled sea lion placenta

While the endemic Santa Fe rice rat, *Aegiolomys galapagoensis bauri*, recently revised from the allocation *Oryzomys bauri*, is described as being primarily noc-

turnal in its activities [1], it is sometimes sighted during daytime visits along lowland trails established by the Galapagos National Park for the purpose of ecotourism. Here we report observation of scavenging by this cricetid on the placenta of a Galapagos sea lion (*Zalophus wollebacki*) on the morning of 10 October 2011 at 08h30 under overcast skies. During a period of several minutes, two adults persistently took turns running out from under salt bush (*Cryptocarpus* sp.) just behind the beach landing site and repeatedly chewing on the placenta very near the head of the adult female that had given birth scant hours before. Considering that diurnally active Galapagos hawks (*Buteo galapagoensis*) also scavenge on placentas [2] and regularly feed on rice rats [3], such behavior seems particularly risky.

Rice rat diets in general [4] are described as primarily including seeds and fruits but some species may be rather omnivorous, sometimes consuming “invertebrate

matter” [2, 5]. Undoubtedly these small mammals require some ingestion of proteins for proper health; such opportunism may be essential as plant material is typically limited in these nutrients. Opportunities to consume protein in a concentrated form may be somewhat unusual and likely highly sought after, thereby offsetting predation risks in such a case when refuge is available at such proximity.

### References

- [1] Tirira, D. 2007. “Mamíferos del Ecuador.” Ediciones Murciélago Blanco: Quito, Ecuador.
- [2] Jackson, M. 1993. “Galapagos: A natural history.” U. Calgary Press: Alberta, Canadá.
- [3] Clark, D. 1980. “Population ecology of an endemic neotropical island rodent: *Oryzomys bauri* of Santa Fe Island, Galapagos, Ecuador.” *J. Animal Ecology*. 49(1): 185-198.
- [4] Eisenberg, J. and Redford., K. 1999. “Mammals of the Neotropics, the central tropics, volume 3, Ecuador, Peru, Bolivia, Brazil.” U. Chicago Press: Chicago, IL.
- [5] Clark, D. 1981. “Foraging patterns of black rats across desert-montane forest gradient in the Galapagos Islands.” *Biotropica* 13: 182-194.



## Extreme ectoparasitic behavior of Hood mockingbirds (*Mimus macdonaldi*) on marine iguanas (*Amblyrhynchus cristatus*) on the island of Española, Galapagos

Kelly Swing

Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales.

Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá

Edificio Cicerón, Tiputini Biodiversity Station.

Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: kswing@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 08/14/2012. Aceptado/Accepted: 11/01/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

Hood Mockingbirds, endemic to the island of Española in the Galapagos Archipelago, have been observed to be more aggressive than has been typically reported. Well beyond the typical “service” of removing ectoparasites from marine iguanas or bits of their shedding skin, and even the pecking at wounds to drink blood as reported for mockingbirds in highly restricted parts of these islands, some individuals on this particular island continue pecking at the relatively insensitive tail tips of these large lizards until they have removed several centimeters of tissue.

**Keywords.** Hood Mockingbird, *Mimus*, ectoparasitism, marine iguanas

### Resumen

Los cucuve de Española pueden ser más agresivos de lo típicamente reportado. Más allá del “servicio” de extraer ectoparásitos y piel seca, o del beber sangre desde heridas como en otros sitios del archipiélago, algunos individuos siguen picoteando a las colas de las iguanas marinas hasta sacar unos centímetros de tejido.

**Palabras Clave.** Cucuve, *Mimus*, ectoparasitismo, iguanas marinas



Figure 1: Hood mockingbird (*Mimus macdonaldi*) pecking at the tail of a marine iguana.

All species of mockingbirds (Mimidae) are typically categorized as rather opportunistic in their feeding behavior [1]. Their opportunism is carried to an extreme in the Galapagos Islands of Ecuador where they are some-

times attracted to injured birds, especially nestling boobies (Sulidae), to consume blood. Mockingbirds and several species of Darwin’s finches have been observed to opportunistically remove bits of dead skin and ectoparasites such as ticks from iguanas (land and marine) as well as giant tortoises [2, 3, 4], typically in a rather non-invasive way that is considered to be mutually beneficial. In a comprehensive survey of blood-drinking behavior in these mockingbirds [2], no case of extensive removal of living tissue from these reptiles was reported.

To cite an example of behavioral convergence, on the islands of Wolf and Darwin (coincidentally at the opposite geographical extreme of the archipelago in northwestern Galapagos), Darwin’s finches have for some time been reported to peck at the bases of the tail feathers of certain large sea birds on their nests specifically to provoke bleeding for the purpose of consuming the blood that issues forth [5, 6]. The most common victims of these finches have also been boobies (*Sula* spp.)

ISSN 1390-5384



that appear to be quite oblivious to such attacks. This type of parasitism is considered to represent a case of extreme opportunism driven by the unusually challenging conditions of this oceanic island chain.

In the whole of the natural world, exceptionally few vertebrates feed on other vertebrates without killing them outright. The most well known examples of vertebrate-on-vertebrate ectoparasitism are certainly among the vampire bats (Phyllostomidae; *Desmodus*, *Diphylla*) endemic to the Neotropics which mostly feed on the blood of large mammals and birds respectively. Nonetheless, there are several other notable cases which represent advanced degrees of niche specialization and very likely in some cases, the impossibility of exploiting alternative food resources. The diminutive cookie-cutter sharks take much more than blood, using their highly derived dentition to remove chunks of skin and underlying tissue from much larger fishes, pinnipeds or cetaceans. The amount of flesh removed turns out to be proportionally small considering the relative enormity of their prey (i.e. "hosts"). In similar cases, there is a long list of freshwater fishes, headed by the piranhas (*Serrasalmus*) and their dozens of characoid relatives that regularly take fin fragments from other members of their communities, not as specialists, but rather as opportunists. One genus of highly specialized characins, *Roeboides*, has evolved short conical tusk-like teeth that protrude forward from the upper jaw, utilized specifically for the removal of scales from other fishes. The scales and the small amount of accompanying skin consumed represent the majority of the diet in most cases, but are occasionally supplemented with insects. Several species of small, elongate Amazonian catfishes, the candirus (Trichomycteridae), typically occupy the gill chambers of larger fishes, chewing on the highly vascularized and delicate tissue of the gill filaments so as to consume blood.

Here we report the first observation of extreme ectoparasitism by Hood mockingbirds, *Nesomimus macdonaldi*, on the island of Española. On each of three independent occasions, 8 October 2007, 17 October 2008 and 28 February 2009 at Punta Suárez, I observed a single Hood mockingbird repeatedly pecking at the tail of a marine iguana and thereby removing substantial amounts of flesh. On all three occasions, the amount of tissue removed from the tails of iguanas exceeded 2 cm<sup>2</sup>; on one of those occasions, the combined amount of removed and exposed tissue totaled at least 5 cm<sup>2</sup>. Since these original observations, during six 3-hour visits in February and October of the years 2008-2010, cursory surveys of hundreds of resting marine iguanas revealed a minimum of 13 individuals with still bleeding or recently healed wounds consistent with this kind of attack; the percentage of affected iguanas was quite low (<1%). In contrast, Curry and Anderson [2] reported that 25% of 100 iguanas examined on Española had lesser wounds similar to those at which mockingbirds had been seen to drink blood. Previous observations suggest that *Nesomimus* frequently attack seabird nestlings

to the point of provoking death [2]; their parasitism on iguanas is not unusual but the impact of this extreme ectoparasitism on their population is likely diminished by the typical location of the attacks (tip of the tail), the proportion of the iguana directly affected and an efficient healing process.

## References

- [1] Gill, F. 1994. "Ornithology." W.H. Freeman & Co: New York, NY.
- [2] Curry, R.; Anderson, D. 1987. "Interisland variation in blood drinking by Galapagos mockingbirds." *The Auk*, 103 (3): 517-521.
- [3] Christian, K. 1980. "Cleaning/feeding symbiosis between birds and reptiles of the Galapagos Islands: new observations of inter-island variability." *The Auk*, 97: 887-889.
- [4] Grant, P.; Grant, N. 1979. "Breeding and feeding of Galapagos mockingbirds, *Nesomimus parvulus*." *The Auk*, 96: 723-736.
- [5] Bowman, R.; Billeb, S. 1965. "Blood-eating in a Galapagos finch." *Living Bird*, 4: 29-44.
- [6] Koster, F.; Koster, H. 1983. "Twelve days among the 'vampire finches' of Wolf Island." *Noticias de Galápagos*, 38:4-10.

## Periodontal abscess in a wild Amazon tapir *Tapirus terrestris*

Kelly Swing\*

Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales.  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá  
Edificio Cicerón, Tiputini Biodiversity Station.  
Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: kswing@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 11/02/2012. Aceptado/Accepted: 11/22/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

Based on osteological evidence, we report an example of extensive bone erosion in association with advanced dental wear and molar loss in a wild tapir from eastern Ecuador. It is suspected that this situation may have very well led to the death of this animal.

**Keywords.** tapir, dental wear, periodontal abscess, *Tapirus terrestris*

### Resumen

Basado en evidencia osteológica, se reporta un ejemplo de erosión ósea extensiva vinculada con el desgaste dental avanzado y la atrición de un molar en un tapir silvestre del Ecuador oriental. Se supone que esta situación habrá conllevado a la muerte del individuo.

**Palabras Clave.** tapir, desgaste dental, osteomielitis, *Tapirus terrestris*



**Figure 1:** Ventro-lateral perspective of the upper right dentition of a wild tapir cranium, showing extensive osteological erosion at the abscess site

Historically it was thought that wild animals rarely suffer from the kinds of problems that humans regularly experience in association with dental health [1]. Through increasing contact with the natural world and greater documentation of the reality of wild animals' lives, it has been noted that complications related to acute damage to teeth and gums as well as chronic wear may present life-threatening risks. It has been observed that most

wild animals avoid major dental problems simply by dying before their teeth go completely bad [2].

The cranium (field number: CKS-Tt-2003, 42 cm in total length) of an adult Amazon tapir, *Tapirus terrestris*, salvaged from the lands of the Tiputini Biodiversity Station in eastern Ecuador in 2003 exhibits signs of advanced age accompanied by indications of deteriorating dental health (Fig. 1). Extensive wear of all the teeth remaining in this specimen is quite evident. In all teeth, crowns (enameled surfaces) have been reduced to a height of less than 4 mm and in some cases on posterior premolars and molars, completely broken away subsequent to deep "cupping" (differential wear leaving the central softer portions of teeth highly depressed in relation to the harder surrounding resistant enamel covering). In contrast, specimens of younger animals typically have the enameled crown height exceeding 9mm; one specimen (CKS-Tt-2006) with total cranial length of only 33 cm (categorized as an adolescent or young adult) had crown heights on maxillary molar III reaching nearly 11mm. While neither total body size nor cranium dimensions are a completely reliable proxy for age, conventional wisdom suggests a general, positive relationship between these variables; a third cranium (CKS-Tt-2010) of intermediate size (38.7 cm total length)

ISSN 1390-5384





with a maximum crown height of 9 mm can be used as support for the argument within a very small sample size. Loss of molar II from the right maxilla is accompanied by bone loss encompassing a volume of approximately 8 cc.

It should be noted that upon death in natural settings, the teeth of these animals generally disappear from skeletal material very quickly due to their somewhat weak connections to the maxillae and apparently, even weaker connections in the case of the mandibles. The subject of this study was recovered early enough to retain all but several incisors. These anterior teeth in particular, due to their structure, including only one conical root, are typically removed within hours of death through the aggressive feeding of scavengers, especially Greater Yellow-headed Vultures (*Cathartes melambrotus*). Based on observations of several other fresh tapir carcasses in Yasuní since 1995, even molars and premolars, with their much greater size and a tetrad of roots may also be removed and consumed within short periods, especially from the lower jaws by the larger, more powerful King Vulture (*Sarcoramphus papa*).

For all vertebrates, cumulative tooth wear is a standard part of life. For many domesticated animals, the process is sufficiently well documented so that age may be readily estimated from general dental condition [3, 4]. For well-studied species of large herbivores that have been extensively hunted and managed in the wild (e.g. White-tailed deer, *Odocoileus virginianus*, in the U.S.), approximate age at death may also be estimated through cursory examination of the teeth [5]. In conjunction with information about known eruption patterns, estimates of relative age may be quite reliable but absolute age determination is often more difficult. Due to myriad complications, such details are not well known for most species in the wild, especially in the tropics where the sheer number of species makes the task more challenging. In any case, overall cranial size [6], reduced tooth structure remaining above the gum line, combined with deep cupping of all molars confirm that this individual was relatively old, likely approaching maximum longevity for the species in the wild [7].

The previously mentioned extensive bone loss in the region of molar attrition from the right maxilla was likely provoked through a series of events beginning with plant stems or leafy material becoming embedded between tooth and gum during typical browsing activity. Infection and abscess would have followed. Subsequent tooth loss would have led to substantial food impaction and maxillary troughing as has been observed in elephants [8]. The process of erosion of the surrounding bony substrate (osteomyelitis) [9] accompanied by ever increasing inflammation would have been exasperated due to the constant presence of decomposing plant matter being compacted into the site of infection with every feeding bout. Undoubtedly, as this abscess developed, pain would have increased concomitantly. Due to the extent of bone loss, it must be assumed that the entire process

manifest in this specimen would have extended minimally over a period of months if not years. Pain would have escalated to a degree that would make chewing difficult or impossible [9]. Although no tooth loss occurred in a symmetrical position on the left side of the upper jaw, considerable tooth wear is evident there as well; the surrounding bony matrix in this region has deteriorated to the point of leaving an open spongy lattice and the roots of these teeth are eroded at a level far below the gum line as well, all indicating an earlier stage of abscess development. Death through improper nourishment accompanied by severe infection would have been probable [8, 9].

## References

- [1] Simonton, F. 1928. "Diagnosis of periodontoclasia." *J Dent Res*, 8: 491-505.
- [2] Patterson, B.D., Neiburger, E.J., and Kasiki, S. 2003. "Tooth breakage and dental disease as causes of carnivore-human conflicts." *J Mamm*, 84: 190-196.
- [3] Aiello, S.E.; Moses, M.A. 2010-2011. "The Merck Veterinary Manual Online." Enlace: <http://www.merckmanuals.com/vet/index.html>. Merck Sharp & Dohme Corp.: Whitehouse Station, N.J.
- [4] Robinson, P.T. 1979. "A literature review of dental pathology and aging by dental means in nondomestic animals-part II." *J Zoo Animal Medicine*, 10: 81-91.
- [5] Schemnitz, S.D. 1980. "Wildlife management techniques manual." The Wildlife Society.
- [6] Eisenberg, J.F. and Redford, K. 1999. "Mammals of the neotropics, the central neotropics." *Volume 3, Ecuador, Peru, Bolivia, Brazil*. Univ. of Chicago Press: Chicago, IL.
- [7] Hershkovitz, P. 1954. "Mammals of northern Colombia, preliminary report no. 7: Tapirs (genus *Tapirus*) with a systematic review of American species." *Proc. U.S. Nat. Mus.* 103: 465-496.
- [8] Wiggs, R.B.; Lobprise, H. 1997. "Veterinary dentistry: principles and practice." Lippincott-Raven Publishers: Cincinnati, OH.
- [9] Feldhamer, G.A., Thompson, B.C., Chapman, J. 2003. "Wild mammals of north america: biology, management, and conservation." Johns Hopkins University Press: Baltimore, MD.

**Presencia de *Brucella* sp. en cabras de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, Ecuador****Carmen Zabala<sup>1</sup>, Verónica Barragán<sup>1</sup>, Gabriel Trueba<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. COCIBA, Instituto de Microbiología  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá  
Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: gtrueba@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 09/28/2012. Aceptado/Accepted: 10/24/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

**Abstract**

The objective of this research was to investigate the presence of *Brucella* sp. in goats from Quito. Lymph nodes and blood were collected from goats slaughtered at the local abattoir and in raw goat milk sold in the streets of Quito. Samples were collected from a total of 300 goats which were analyzed by PCR (lymph nodes and milk) and agglutination test (sera). Our results confirmed the presence of *Brucella* sp. in the goats sampled during this research: 9,0 % in milk (PCR), 8,0 % in lymph nodes (PCR) and 17,8 % in serum samples (agglutination test).

**Keywords.** *Brucella* sp

**Resumen**

El objetivo de esta investigación fue establecer la presencia de *Brucella* sp. en cabras de la ciudad de Quito. Se realizó análisis de nódulos linfáticos y suero de animales sacrificados en el Camal Metropolitano de Quito y de leche cruda expedida en las calles de la ciudad. Se colectó muestras de 300 animales que fueron analizadas mediante aglutinación en suero y reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Se obtuvo un 9,0 % de positividad en leche (PCR), 8,0 % en ganglios (PCR) y 17,8 % en suero (prueba de aglutinación). Estos resultados confirman la presencia de *Brucella* sp. en las cabras analizadas.

**Palabras Clave.** *Brucella* sp

*Brucella* es un cocobacilo Gram negativo intracelular facultativo [1, 2, 3] y es el agente etiológico de la fiebre ondulante, una enfermedad zoonótica grave de distribución mundial y de reporte obligatorio [4]. Se ha identificado siete especies de *Brucella* [5] que se encuentran asociadas generalmente a hospederos específicos: *Brucella suis* es patógena en suinos; *B. canis* tiene afinidad por caninos; *B. ovis* afecta a ovinos; *B. melitensis* a ovinos y caprinos; *B. cetaceae* afecta principalmente a los cetáceos; *B. abortus* a bovinos; y *B. neotomae* a las ratas [1, 4]. Sin embargo las diferentes especies de *Brucella* pueden infectar distintos animales; por ejemplo, *B. abortus* puede infectar también a ovejas y cabras. La infección se manifiesta en los animales con aborto[6], retención placentaria, parición de crías débiles, mastitis, epididimitis, orquitis y artritis[5, 7]. La brucelosis humana es causada por varias especies de *Brucella*, *B. melitensis* es la especie predominante de estas infecciones [7].

La transmisión de *Brucella* sp. a humanos ha sido atri-

buida a varias formas de exposición al patógeno: 1) consumo de productos lácteos no pasteurizados, 2) consumo de carne cruda, 3) contacto directo con secreciones de animales infectados (veterinarios y granjeros), 4) contacto directo con cultivos bacterianos en laboratorios de investigación [4, 8, 9, 10, 11, 12]. La enfermedad se caracteriza por una sintomatología no específica tal como cefalea, pirexia, anorexia, lumbalgia, mialgia, adenopatía, esplenomegalia, entre otras [7]. Algunos pacientes pueden desarrollar osteomielitis, artritis, abscesos esplénicos, orquitis y endocarditis [4]. El control de la transmisión al humano depende únicamente de la prevención en animales mediante la aplicación de la vacuna y la eliminación de animales infectados [13].

En el Ecuador se ha reportado la presencia de *Brucella* en bovinos [14, 15], y un estudio realizado en los años 2009-2010 en cabras del sector periurbano de Quito registró una seropositividad a brucelosis del 0.05 % [16]. Sin embargo Ecuador no ha reportado oficialmente la presencia de *B. melitensis* a pesar de que la enfermedad

ISSN 1390-5384



Tipo de muestra	Método de detección	Muestras analizadas	Muestras positivas	Positividad
Ganglio	PCR	100	8	8,0 %
Leche cruda	PCR	100	9	9,0 %
Suero	Rosa de bengala	101	18	17,8 %
			PROMEDIO	1,6 %

**Table 1:** Muestras de ganglios, leche cruda y suero de cabras colectadas en la ciudad de Quito, Ecuador, analizadas para la presencia de *Brucella* sp. utilizando PCR y Rosa de Bengala.

está presente en Perú y Colombia [17, 18]. El objetivo de este estudio fue establecer la presencia de *Brucella* sp. en cabras a partir de muestras obtenidas de diferentes fuentes de origen y por medio de varios métodos complementarios.

En este estudio se colectó un total de 300 muestras de caprinos. Cien muestras de suero y 100 de ganglios linfáticos (retrofaríngeo e inguinal) provinieron del Camal Metropolitano de Quito (ubicado en la calle Camilo Orejuela y General Angel Issac Chiriboga, Quito, Ecuador); mientras que 100 muestras de leche fueron tomadas en las calles de 4 zonas de la ciudad de Quito (*Zona Sur de Quito*: Calle Quitumbe, Av. Moran Valverde, Barrio el Pintado Calle Atahualpa y Mariscal Sucre, Mariscal Sucre y Guaynafalcon, Mariscal Sucre y Alonso De Angulo, Barrio Ferroviaria, Moraspungo, Panamericana Sur, Calle Maldonado. *Zona Pomasqui*: Autopista Manuel Córdova Galarza, Barrio San Mateo, Oyacoto, Calderón: Mercado de Calderón. *Zona Norte*: Av. Eloy Alfaro (frente a la embajada Americana, Av. Amazonas y Calle Ñaña-quito, Barrio Comité del Pueblo Av. Francisco De la Torre, Mercado Central de Cotacollao. *Zona Sangolqui*: Mercado Central Sangolqui, Conocoto: Plaza Central de Conocoto, Amaguaña: Mercado Central de Amaguaña). Las muestras de suero fueron analizadas utilizando la prueba de Rosa de Bengala [19]. Se utilizó 25 µl del reactivo Rosa de Bengala (Acros Organics, New Jersey, EE.UU) con 75 µl de suero; a los 4 minutos se determinó la reacción de aglutinación. La extracción de ADN a partir de los tejidos y de las muestras de leche fue realizada utilizando CTAB (Merck, Darmstadt, Germany) con el procedimiento previamente utilizado por Baquero et al. [20]. Para descartar la presencia de compuestos inhibitorios y como control de la PCR (reacción en cadena de la polimerasa) se amplificó el gen de beta-actina [21]. Para la detección de *Brucella* sp. se utilizó cebadores del gen *bcs31* [22, 15]. Los productos de PCR fueron visualizados mediante electroforesis en gel de agarosa al 1,5 %. Para confirmar resultados, se realizó el secuenciamiento de 4 productos de PCR en los laboratorios FUNCTIONAL BIOSCIENCES (Madison, Wisconsin EEUU), las secuencias obtenidas se alinearon con el programa MEGA 5.1 para luego ser comparadas con secuencias del GenBank utilizando BLAST (blast.ncbi.nlm.nih.gov).

Este estudio encontró evidencia de infección por *Brucella* sp. en un 11,6 % de los animales muestreados. Los resultados de la PCR de ganglios linfáticos obtenidos de cabras faenadas del Camal Metropolitano de Quito mostraron un 8,0 % de positividad mientras que las muestras

de sangre fueron positivas en un 17,8 %. Las 100 muestras de leche cruda comercializada en las calles de la ciudad de Quito evidenciaron un 9,0 % de positividad (Tabla 2).

El porcentaje de positividad encontrado en las cabras analizadas en este estudio es superior al reportado previamente [16] en cabras de granjas del sector periurbano de Quito. Sin embargo se ha encontrado que la prevalencia de brucelosis en cabras es diversa. En Argentina una prevalencia varía del 6,5 % al 80,0 % dependiendo de la zona y el predio analizado [23]. Los resultados obtenidos en este estudio son coherentes con las prevalencias de brucelosis en cabras detectadas en Sudamérica: Perú 5,7 % [17], Colombia 1,2 % [18], Argentina 12,5 % [23].

La secuencia de ADN obtenida a partir de los productos de PCR confirmaron que el ADN detectado proviene de bacterias del género *Brucella*. Al momento se desconoce la especie de *Brucella* detectada (las cabras pueden infectarse de *B. ovis*, *B. melitensis* y *B. abortus*). El próximo paso dentro de este proyecto es la determinación de la especie de *Brucella* detectada en cabras ecuatorianas.

La producción caprina y el consumo de productos de este origen ha crecido en el Ecuador durante los últimos años. Así mismo, se ha popularizado el hábito de tomar leche cruda de cabra ya que se le atribuye propiedades medicinales. Pensamos que es importante que las autoridades de sanidad animal ecuatoriana inicien un programa de detección y control de esta enfermedad. Es importante educar a los pequeños ganaderos vendedores de leche de cabra en las calles de Quito para que emprendan un programa de eliminación de la enfermedad en los animales y la promoción del consumo de leche hervida.

### Agradecimientos

Al Instituto de Microbiología de la Universidad San Francisco de Quito por el financiamiento de este proyecto. Al Doctor Ramiro Gonzalez por su apertura para la colecta de muestras en el Camal Metropolitano de Quito. Al Doctor Keith Poulsen de la Universidad de Wisconsin por el reactivo para Rosa de Bengala. A María Inés Baquero y Estefanía Bermeo por sus consejos técnicos. A Daysi Parrales por toda su ayuda.

## Referencias

- [1] Nicoletti, P. 2010. "Brucellosis: Past, Present and Future." *Biol. Med. Sci.* 31: 21-32.
- [2] Freer, E. y. Castro-Arce, R. 2002. "Brucella: Una bacteria virulenta carente de los factores de virulencia clásicos." *Rev. Costarric. Cienc. Méd.* 22: 73-82.
- [3] Romero, R. 2007. "Microbiología y parasitología humana." Editorial Panamericana: México.
- [4] OIE 2011. "General Disease Information Sheets: Brucellosis." Enlace:  
[http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Media\\_Center/docs/pdf/Disease\\_cards/BCLS-EN.pdf](http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Media_Center/docs/pdf/Disease_cards/BCLS-EN.pdf), Organización Mundial de Sanidad Animal OIE: París, Francia. Consulta: Agosto 2012.
- [5] Coetzer, J. y Tustin, R. 2004. "Infectious Diseases of Livestock." Oxford University Press: South Africa.
- [6] Ficht, T. 2010. "Brucella Taxonomy and Evolution." *Future Microbiol.* 5:859-866.
- [7] Franco, M., Mulder, M., Gilman, R. y Smits, H. 2007. "Human Brucellosis." *Lancet Infect Dis.* 7:775-786.
- [8] Freer, E., Moreno, E., Moriyón, I., Pizarron-Cerda, J., Weintraub, A., y Gorvel, J. 1996. "Brucella- Salmonella Lipopolysaccharide Chimeras are Less Permeable to Hydrophobic Probes and More Sensitive to Cationic Peptides and EDTA Than are Their Native Brucella sp. Counterparts." *J. Bacteriol.* 178: 5867-5876.
- [9] CFSPH 2007. "Ovine and Caprine Brucellosis: *Brucella melitensis*." Enlace:  
<http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/brucellosismelitensis.pdf>, The Center for Food Security & Public Health, Iowa State University: Ames, IA. Consulta: Agosto 2012.
- [10] Godfroid, J., Nielsen, K., y Saegerman, C. 2010. "Diagnosis of Brucellosis in Livestock and Wildlife." *Croat Med J.* 51: 296- 305.
- [11] Mantur, B.G, Amarnath S.K., y Shinde, R.S. 2007. "Review of Clinical and Laboratory Features of Human Brucellosis." *Indian J Med Microbiol.* 25:188-202.
- [12] Yagupsky, P. y Baron, E. 2005. "Laboratory Exposures to Brucellae and Implications for Bioterrorism." *EID Journal.* 11: 1180-1185.
- [13] OIE 2009. "OIE Terrestrial Manual: Caprine and Ovine Brucellosis (Excluding *Brucella Ovis*)." En: "Terrestrial Manual", Organización Mundial de Sanidad Animal OIE: París, Francia, capítulo 2.7.2.
- [14] Ron, J. y Benítez, W. 2005. "Brucelosis bovina. Mundo veterinario." *Revista del Colegio de Médicos Veterinarios de Pichincha.* 5: 10-11.
- [15] Lozada, G. 2008. Leche de cabra en Quito. *La Televisión*, Quito, Ecuador.
- [16] Ron, J.; Barzallo, D.; Gonzalez P.; Minda E.; Bervens D.; Benitez, W.; Brandt, J.; Saegerman, C. 2012. "Seroprevalencia de *Brucella* spp., en cabras de los cantones Quito y Zapotillo." *II Encuentro Nacional de Investigación en Enfermedades Infecciosas y Medicina Tropical. Junio 2012.*
- [17] Taboada, N.; Campos, M.; Leiva R.; Gomez, J.; Mancilla, C.; Salazar, M. 2005. "Seroprevalencia de brucelosis en ganado caprino en hatos del Callao." *Rev Peru Med Exp Salud Publica.* 22: 139- 144.
- [18] Tique, V.; Daza, E.; Alvarez J.; Mattar, S. 2012. "Seroprevalencia de *Brucella abortus* y ocurrencia de *Brucella melitensis* en ovinos y caprinos de Cesar y Sucre." *U.D.C.A Act and Div. Cient.* 13: 133-139.
- [19] OIE 2009. *Bovine Brucellosis*, en: "Terrestrial Manual", Organización Mundial de Sanidad Animal OIE: París, Francia, capítulo 2.4.3.
- [20] Baquero, M.; Lopez, N.; Mejia, M.; Trueba, G. 2010. "Evaluation of a Polymerase Chain Reaction for the Diagnosis of Leptospirosis on Cattle." *The Open Veterinary Science Journal.* 4: 31-35.
- [21] duBreuil, RM.; Patel, J.M.; Medeleow, B.V. 1993. "Quantitation of eta-actin-specific mRNA transcripts using xeno-competitive PCR." *PCR Methods Appl.* 3: 57-59.
- [22] Sanjay, K.; Tuteja, U.; Sarika, K.; Kumar, D.; Kumar, A.; Kumar, O. 2011. "Rapid Multiplex PCR assay for the simultaneous detection of *Brucella* Genus, *B. abortus*, *B. melitensis*, and *B. suis*." *J. Microbiol. Biotechnol.* 21: 89-92.
- [23] Robles, C.A. 2009. "Brucelosis caprina." *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- INTA: Argentina.*

## Observaciones etológicas del Halcón Cazamurciélagos *Falco ruficularis* en Ecuador (Falconiformes: Falconidae)

Héctor F. Cadena O.<sup>1\*</sup>, Orlando Carrión<sup>2</sup>, Daniela Bahamonde V.<sup>1</sup>, Tjitte de Vries<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Escuela de Ciencias Biológicas  
Av. 12 de Octubre 1076 y Roca, Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Fundación Ecológica Andrade, Reserva Ecológica Manglares Churute, Ecuador

\* Autor principal/Corresponding author, e-mail: fercho\_cada@yahoo.es

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 11/02/2012. Aceptado/Accepted: 12/05/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

We present the monitoring information of two pairs of Bat Falcon (*Falco ruficularis*), one in a locality of Ecuadorian Amazon (in the Yasuní National Park, from May to June 2012) and in a locality in western Ecuador (in Milagro city, from October 2011 to July 2012). We discuss the observed behavior with the data in literature on this bird and, in the absence of detailed ethological information in Ecuador, we highlight the importance of this paper, specially to established the nesting dates in different geographical regions of the country.

**Keywords.** *Cedrelinga cateniformes*, Milagro city, Nest, Yasuní

### Resumen

Presentamos información del monitoreo de dos parejas de Halcón Cazamurciélagos (*Falco ruficularis*) obtenida en una localidad en la Amazonía ecuatoriana (dentro del Parque Nacional Yasuní de mayo a junio 2012) y en una localidad en el occidente de Ecuador (en la ciudad de Milagro, de octubre 2011 a julio 2012). Discutimos el comportamiento observado con lo publicado sobre esta ave y, ante la ausencia de información etológica detallada en Ecuador, resaltamos la importancia de este reporte para determinar la estacionalidad de la anidación de este halcón en diferentes regiones geográficas del país.

**Palabras Clave.** *Cedrelinga cateniformes*, ciudad de Milagro, Nido, Yasuní

### Introducción

El Halcón Cazamurciélagos *Falco ruficularis* se distribuye desde el sur de México hasta el norte de Argentina (estando ausente al oeste de Perú) [1, 2]. En Ecuador está extendido en bajuras y estribaciones al este y oeste de la Cordillera de los Andes, principalmente por debajo de los 1000 m sobre el nivel del mar [3]. *Falco ruficularis* tiene una alta sensibilidad a la deforestación y a la fragmentación y una baja capacidad para atravesar matrices humanas [4]; aunque lo hemos registrado en varias zonas pobladas al occidente del país (e.g., Mindo y Nanageral en Pichincha; Guayaquil, Milagro y Naranjal en Guayas). Ha sido clasificado según los criterios de amenaza de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN como una especie de preocupación menor (LC) [5]. Información sobre la ecología, comportamiento y principalmente sobre la dieta de este halcón se ha profundizado en Venezuela [6, 7] y México [8]. Sin embargo, no se encontró publicaciones sobre su

ecología en Ecuador, aunque Ridgely & Greenfield [3] realizan comentarios generales de sus hábitos (ver abajo).

Monitoreamos el comportamiento de dos parejas del Halcón Cazamurciélagos. La primera consecutivamente desde el 27 de mayo hasta 3 de junio de 2012, en horarios aleatorios desde 5:30 h a 19:00 h sumando un total de 24 h efectivas de observación. La segunda pareja 3 veces por semana del 17 octubre de 2011 al 15 de abril de 2012, de 6:00 h a 7:30 h y de 18:00 h a 19:00 h, horarios de mayor actividad de caza [9], se sumaron 208 h de observación. En la mayoría de los avistamientos pudimos distinguir a los individuos por su sexo ya que *Falco ruficularis* presenta dimorfismo sexual (Fig. 1b): el macho es 61 % del tamaño de la hembra, el rango de longitud de la especie es 23–30 cm (basado en el cubo de la media de las medidas del ala) [2].

La primera pareja se la observó alrededor de un árbol de Chuncho (*Cedrelinga cateniformes*) (Fig. 1a), ubi-

ISSN 1390-5384







Figura 1: Halcones de la Amazonía: a. Chuncho visto desde oeste (Foto: H. Cadena); b. Dimorfismo sexual: izq. macho, der. hembra (Foto: D. Bahamonde); c. macho acicalándose (Foto: H. Cadena).

cado a ca. 3 m de la carretera, en el kilómetro 7,5 de la vía a Tivacuno, dentro del Parque Nacional Yasuní, provincia de Orellana ( $76^{\circ}24'1,8''$  O;  $0^{\circ}40'16,7''$  S). El Chuncho tenía una altura aproximada de 25 m y una circunferencia no mayor a 6 m. A la altura de ramificación (ca. 21 m) había el tocón de una rama caída con dos orificios: el primero en dirección de entrada N 20 E y el segundo unos centímetros más arriba y en dirección oeste (Figs. 2 y 3). El 11 y 12 de agosto de 2011 observaron en el mismo árbol una pareja de *Falco rufifigularis*, posiblemente los mismos individuos, copulando, al macho llevando comida a la hembra y solamente la hembra entrar al hueco del árbol (C. Andrade & K. Torres, *com. pers.*). Solo la hembra pernoctó en el Chuncho dentro del hueco, por cuatro ocasiones que las observaciones se extendieron hasta el inicio de la noche se observó a la hembra ingresar directamente por el segundo orificio entre las 18:30 h. A la mañana siguiente, a partir de las 5:47 h, salía de este orificio a dar encuentro al macho, quién estaba ausente de la zona desde las 18:00 h. Antes de regresar a pernoctar al Chuncho la hembra se ausentaba desde las 17:30 h. El macho en un horario de 7:00 h a 10:30 h realizó cuatro vuelos cortos para cazar insectos, posiblemente polillas, (porque las desgarró con facilidad, las consumió en poco tiempo, - 30seg, y vimos caer alas pequeñas triangulares, de apariencia muy liviana), volvió a la percha y vocalizó, solo en una ocasión la hembra respondió a estos llamados y se acercó a tomar la presa de las patas del macho y se fue a una

percha cercana a comerla. Las otras ocasiones el mismo macho consumió las presas luego de vocalizar. En una ocasión se vio a la hembra alimentarse de un ave, no identificada, en una percha del Chuncho cerca del medio día. Comúnmente esta pareja se ausentaba desde las 17:30 h, cuando empezaba a disminuir la luminosidad y se veía actividad de murciélagos, probablemente salían a cazarlos.

Observamos a esta pareja copular al menos por 5 ocasiones, en diversas horas del día, en una de ellas se cronometró que la cópula duró 6 segundos; previo al evento el macho vocalizaba, la hembra respondía, el macho se dirigía hacia donde la hembra estaba perchada, tenían contacto físico y luego el macho volaba hacia otra percha. Vimos a estos halcones 5 veces perseguir a otras aves (*Ramphastos* sp., *Daptrius ater*, *Amazona* sp.) que pasaban por la zona o se perchaban en el Chuncho. En una ocasión con *Ramphastos tucanus* incluso llegó al contacto físico cuando la pareja lo persiguió volando y picoteó la espalda del intruso.

La segunda pareja la observamos dentro de la ciudad de Milagro, provincia de Guayas ( $79^{\circ}35'51,8''$  O;  $02^{\circ}08'27,8''$  S). Alrededor de una despensa de víveres, identificamos sobre esta a su percha más frecuente una torre de una antena de radio de 40 m y su nido detrás de la valla publicitaria de la misma despensa (Fig. 4). A partir del 1 de noviembre de 2011 solo se observaba al halcón macho perchar en la antena, posiblemente la hembra estaba





**Figura 2:** Chuncho: en círculos las perchas más comunes al sur (S) y al norte (N) del árbol; numerados los orificios de entrada (Foto: H. Cadena).

empollando, ya que, antes de esta fecha los 2 perchaban en la antena e incluso pernoctaban allí, separados una distancia vertical de un metro. El 2 de diciembre de 2011 a las 8:00 h, mientras el halcón macho estaba perchado en la antena, la hembra llegó a la valla, con un murciélago en su pico, entonces evidenciamos a un polluelo salir, aleteando y chillando a recibir el alimento, de la parte cubierta de la base de la valla a la zona donde hay una malla metálica que permite visualizarlo. La cría era ligeramente de menor tamaño que el adulto y estaba completamente emplumada.

Los días siguientes observamos que la pareja indistintamente llevaban a la cría un murciélago en la mañana entre 6h00 y 6h30 y otro entre 18h00 y 18h30. El 5 de enero de 2012 observamos a los halcones adultos vigilar detenidamente los primeros intentos de vuelo de su cría, este realizaba pequeños vuelos de no más de 25 m entre techos de casas cercanas. En uno de sus intentos no llegó a otra percha y cayó 15 m al piso, mientras caía continuaba aleteando y la vegetación amortiguó su caída, en poco tiempo la cría emprendió nuevamente el vuelo hacía otro techo, durante todo esto los padres lo seguían con la mirada y vocalizaban. La tercera semana de enero vimos perchados a la familia completa, los 3 Halcones Murcielagueros, en otra antena de 40 m, a ca. 100 m frente a la despensa de víveres. Desde la se-

gunda semana de febrero de 2012 no volvimos a ver al halcón juvenil. Los halcones adultos perchaban esporádicamente en diferentes sitios hasta el 14 de abril de 2012, cuando ya no se los volvió a ver en los alrededores. Muy raro se volvió a ver posiblemente a los mismos individuos perchados en techos de casas o antenas alrededor de la ciudad. Antes de que aniden perchaban ca. 4 min y salían a cazar por ca. 3 min y regresaban a comer su presa (murciélago), sumándose la ingesta de hasta 5 murciélagos cada uno durante el horario de monitoreo. Los halcones adulto consumían al murciélago en corto tiempo, en una ocasión se cronometró que tardó menos de un minuto. Por dos oportunidades vimos a los halcones adultos volar en picada, aparentemente para cazar. Uno de estos ataques fue contra una bandada de 30 individuos de *Columba livia* que forrajeaban en el suelo pero todas huyeron exitosamente. Esta pareja también fue atacada en dos ocasiones independientemente por *Progne chalybea* y *Tyrannus melancholicus*.

Se sabe que *Falco ruficularis* tiene la habilidad de cazar y transportar presas desde lugares distantes a la percha de donde son usualmente vistos [6, 8]; entre el medio día era común que los halcones de la Amazonía se ausenten, posiblemente se iban a cazar lejos o también se protegían del calor de esta hora en otros lugares; los halcones de occidente también abandonaban su percha, en



Figura 3: Acercamiento del resto de rama en el Chuncho, hembra de halcón perchada a la entrada de orificio 1 (Foto: H. Cadena).



Figura 4: Despensa donde fue observada la pareja de occidente; en círculos en la valla 1: sitio por donde entraba el adulto a dejar la comida al pichón; 2: lugar del nido; línea roja: indica por donde caminaba el pichón a recibir al alimento. Flechas indican perchas más comunes en la antena (Foto: O. Carrión).

el horario de monitoreo, hasta 10 min y regresaban sin presa.

*Falco ruficularis* caza en la oscuridad, pero también de día [10]; se especializa en capturar murciélagos al alba y al crepúsculo [9]; atrapa a sus presas en pleno vuelo, el cual es muy rápido y dinámico [3], lo que le permite cazar aves de tamaño pequeño y vuelo ágil como: golondrinas, colibríes y vencejos [11]. En general se describe la dieta de *Falco ruficularis* de murciélagos, aves e insectos grandes, variando la importancia de cada grupo según las localidades [1, 3, 7, 10]. Entre los insectos se detalla a libélulas (Odonata), polillas (Lepidoptera), saltamontes de gran tamaño (Orthoptera), Homoptera e Hymenoptera [1]. A la pareja de occidente solo se le observó consumir murciélagos mientras la de la Amazonia polillas y por una ocasión un ave.

La defensa de un territorio se da cuando hay un recurso importante [12], en la Amazonia el recurso pudo ser el orificio del Chuncho; el número y estado de los orificios es indicativo del bienestar de un gran conjunto de especies que dependen de árboles viejos o muertos [13]; por lo que la pareja de la Amazonia defendió agresivamente su territorio contra las aves ya mencionadas antes, a la pareja de occidente no se la vio en acciones de defensa.

Esta especie de halcones ocupa largos períodos de tiempo, en pareja, perchados en ramas muertas de su preferencia y a buena altura [3], la antena sobre la despensa fue la percha frecuente de la pareja de occidente y la rama al sur del árbol (Fig. 2) para la de la Amazonia. Gran tiempo también lo emplearon para acicalarse (Fig. 1c) o solo vocalizar: por lo común el macho iniciaba con un llamado largo y la hembra respondía con llamados cortos, en una ocasión se registró lo contrario, pero se sabe que “especialmente las hembras son las que emiten un agitado kí-kí-kí-kí...” [3]; por lo que suponemos que este comportamiento de llamado del macho de la Amazonia y la traída de alimentos fueron comportamientos de cortejo. En los halcones del occidente pudimos establecer un período de dependencia de la cría de 65 días, desde que observamos al pichón hasta que dejamos de verlo, en literatura se describe un periodo entre 35 a 40 días [1].

Las observaciones aquí reportadas contribuyen al conocimiento sobre la etología de la especie en el país, en especial para definir una temporalidad para las poblaciones de *Falco ruficularis* en el Ecuador; es interesante mencionar que la época de anidación en el Parque Nacional Yasuní en 2011 y 2012 ha sido en los meses de julio a septiembre; mientras que en la ciudad de Milagro en el 2011 ha sido en los meses de octubre a diciembre. Se requieren más datos para determinar si los patrones aquí descritos constituyen la generalidad en nuestro país.

### Agradecimientos

Al personal de la Estación Científica Yasuní de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por su buen trato durante nuestra estancia. Al personal del Supermercado Mayorista Devies por permitirnos realizar las observaciones en su local y a los revisores y editores de esta revista por sus comentarios en este manuscrito.

### Referencias

- [1] White, C.M.; Olsen, P.D.; Kiff, L. F. 1994. “Family Falconidae (Falcons and Caracaras)”, en: “Handbook of the birds of the world”, Volume 2: New World Vultures to Guinea-fowl, del Hoyo, J.; Elliott, A.; Sargatal, J. (Eds.), Lynx Edicions, Barcelona, España, pp. 216-275.
- [2] Ferguson-Lees, J.; and Christie, D. A. 2001. “Raptors of the World.” Houghton Mifflin Company: New York, NY.
- [3] Ridgely, R. S.; and Greenfield, P. J. 2001. “The Birds of Ecuador: Status, Distribution and Taxonomy.” Cornell University Press: Ithaca, NY.
- [4] BirdLife International. 2009. “Falco ruficularis”, en: IUCN. 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2, Enlace: [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org), Fecha de Consulta: 4 Junio 2012.
- [5] Zurita, G. A.; and Bellocq, M. I. 2007. “Pérdida y fragmentación de la selva paranaense: Efectos sobre las aves rapaces diurnas.” *Hornero*. 22(2): 141-147.



- [6] Beebe, W. 1950. "Home life of the bat falcon, *Falco albicularis albigularis* daudin." *Zoológica*. 35: 69–86.
- [7] Seijas, A. 1996. "Feeding of the bat falcon (*Falco ruficularis*) in an urban environment." *J. Raptor Res.* 30(1): 33–35.
- [8] Chavez-Ramirez, F.; Enkerlin, E. C. 1991. "Notes on the food habits of the bat falcon (*Falco ruficularis*) in Tamaulipas, Mexico." *J. Raptor Res.* 25: 142–143.
- [9] Kricher, J. 2012. "Un compañero Neotropical: Una introducción a los animales, plantas y ecosistemas del trópico del Nuevo Mundo." American Birding Association, USA, 2 Edition.
- [10] Thiollay, J. M. 1985. "Species diversity and comparative ecology of rainforest falconiforms on three continents." *ICBP Technical Publication*. 5: 167–179.
- [11] Ortiz-Crespo, F. I.; Carrión, J. M. 1991. "Introducción a las aves del Ecuador." Fecodes, Quito, Ecuador.
- [12] Gill, F. B. 2007. "Ornithology." W.H. Freeman and Company: New York, NY. 3 Edition.
- [13] Politi, N., Hunter, M., and Rivera, L. 2009. "Nest selection by cavity-nesting birds in subtropical montane forests of the Andes: Implications for sustainable forest management." *Biotropica*. 41(3): 354–360.

**Preliminary observations on the natural history of representative treehoppers (Hemiptera, Auchenorrhyncha, Cicadomorpha: Membracidae and Aetalionidae) in the Yasuní Biosphere Reserve, including first reports of 13 genera for Ecuador and the province of Orellana**

Kelly Swing\*

*Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales.  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá  
Edificio Cicerón, Tiputini Biodiversity Station.  
Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador*

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: [kswing@usfq.edu.ec](mailto:kswing@usfq.edu.ec)

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 10/02/2012. Aceptado/Accepted: 10/20/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

Preliminary observations on the membracids of the Tiputini Biodiversity Station, Amazonian Ecuador, are reported (i.e. habitat preferences, group sizes, sociality, plant preferences for feeding, ethological details and nesting behavior). The number of genera listed as occurring in the country of Ecuador is increased by thirteen.

**Keywords.** Amazonia, Membracidae, treehoppers, Yasuní, natural history

### Resumen

Observaciones preliminares sobre los membrácidos de la Estación de Biodiversidad Tiputini, Amazonía ecuatoriana, son reportadas (preferencias de hábitat, tamaños de grupos, socialidad, plantas que se usan para la alimentación, detalles de comportamiento general y la anidación). Se aumenta en trece el número de géneros listados para el país.

**Palabras Clave.** Amazonía, Membracidae, saltarines, Yasuní, historia natural

### Introduction

Membracids, commonly known as treehoppers, are small relatives of the cicadas. Most genera can be distinguished by the form of the pronotum, a dorsal portion of the thoracic exoskeleton. In some, this structure is barely developed but in others, it can only be described as extravagant. Treehoppers are primarily tropical in their distribution but some species do occur in temperate latitudes in both the Old World and the New. The family has its origins in the Neotropics [1] and there are more than 1500 species described for Latin America among over 200 genera [2]. The photographs of 38 genera seen here represent nearly 20% of those reported for the entire Neotropical Realm. All specialize on plant saps; mouthparts have the form of a sharp-pointed drinking tube. They are found on plants of all sizes from a few centimeters in height to the largest trees and lianas of the rainforest canopy, but new growth is most attractive to these insects due to the greater flow of sap and tenderness. Some species are nearly always solitary while

others tend to be quite social, living in groups of several dozen or more. The capacity to communicate through vibrations has been documented for many species [3]; as with the majority of their relatives, including the well-known cicadas, the use of sound in this way is particularly common. Observations at Tiputini have confirmed that some species/individuals may reside on a single plant that serves as a nesting site for weeks or as a food resource for months. The genera cited in this paper are undoubtedly only a fraction of the total that occurs in eastern Ecuador. While images included in this article (Figures 1-38) may serve as typical examples of genera in the Yasuní region, they should not be used alone for definitive identifications due to the fact that dozens of other genera and likely hundreds of other species occur across the country of Ecuador.

### Methods

Between 2008 and 2012, treehoppers were opportunistically observed in nature at the Tiputini Biodiversity

Station (TBS). Situated in Ecuador's Orellana Province in the central northern part of the Yasuní Biosphere Reserve at about 200 m elevation on the left bank of the Tiputini River, TBS is a typical lowland western Amazon rainforest site. Using various Nikon cameras and a 105 mm micro Nikkor lens, membracid presence and activities were photographically documented. Resulting digital images were submitted to several membracid specialists for generic identification (see "Acknowledgements"). Although numerous other genera have been observed at this locality, the lack of reliable identifications disallows their inclusion at this date.

## Results and Discussion

Classification of treehopper genera included in this treatment, based on [4], appears as an appendix. Generalizations derived from TBS observations are presented here below. Many details included among these annotations for the representatives at Tiputini confirm information published per genus [4] from other geographical regions.

Members of the family Aetalionidae are close but primitive relatives of the membracids. These two families share many similarities morphologically, behaviorally and ecologically but a few technically important differences do exist; a second crest as in *Lophyraspis* is actually formed by the scutellum rather than the pronotum (McKamey, pers. comm.).

Here I report the occurrence of thirteen genera of treehoppers for Ecuador that were not included by Godoy et al. [4]: *Hanstruempelia*, *Sundarion*, *Dysyncritus*, *Nasunia*, *Notogonioides*, *Cladonota*, *Enchophyllum*, *Havilandia*, *Lallemandia*, *Eucyphonia*, *Todea*, *Bocydium* and *Paracentronodus*.

### Annotations for genera observed at the Tiputini Biodiversity Station

#### Family Aetalionidae

*Lophyraspis* (Figure 1), *Tropidaspis* (Figure 2). These two genera of primitive treehoppers are similar in size to their membracid cousins. Their superficial resemblance aids in identification but their dorsal ornamentation is generally less developed or involves the scutellum as well as the pronotum. *Lophyraspis* has been observed very rarely but in groups of 6 to 16 for feeding on small understory treelets near treefall gaps. Feeding by *Tropidaspis* on Smilacaceae and Moraceae has been witnessed regularly. Nesting has been directly observed during both wet (March-July) and dry seasons (November, December) on a moraceous plant in edge situations, suggesting that this genus may reproduce year round. Based on local sightings, *Tropidaspis* is rather solitary except when nesting.

#### Family Membracidae

##### Subfamily Darninae

##### Tribe Cymbomorphini

*Cymbomorpha* (Figure 3). In form, but not in phylogeny, this genus is intermediate between *Amastris* and *Membracis*, the keel is well developed but not as exaggerated as in the latter genus; the pronotum is roughened or even striate. Adults are solitary, but little to nothing is known of reproduction or immature stages. Most commonly seen feeding on Melastomataceae, especially in edge situations. Reproduction not observed.

##### Tribe Darnini

*Sundarion* (Figure 4). This genus has a pair of flattened horns that extend laterally. These hoppers are of moderate size (8-10mm) and are mostly brown but some have contrasting black and white markings. Essentially nothing is known of their natural history [4]. So few observations of this genus have been made at TBS that no general conclusions may be drawn about any aspects of their lives beyond geographical occurrence.

##### Tribe Hyphinoini

*Hanstruempelia* (Figure 5). Can be described as "hammer-headed" treehoppers; the pronotum is highly inflated and has a broad convex apex; dorso-ventrally flattened lateral extensions present rather sharp margins. Coloration includes contrasting creamy yellow and black markings. One female (approx. 10mm) observed once feeding in an open, disturbed area dominated by melastomes.

##### Tribe Hemikypthini

*Hemikyptha* (Figure 6). These are some of the largest treehoppers, possibly reaching 17-25mm. They typically have a pair of elongate, sharp-pointed, curving supra-humeral horns. Horns can be round or flattened in cross section and the pronotum is generally well developed, possibly extending posteriorly beyond the wingtips. The few observations made at TBS imply that these treehoppers are solitary.

##### Subfamily Heterotinae

##### Tribe Heterotini

*Anchistrotus* (Figure 7). This genus is unmistakable due to the large inflated pronotum with 3 points at its postero-ventral margin; its attachment to the body is quite fragile. Coloration ranges broadly but usually involves two contrasting colors arranged in irregular splotchy patterns; the palette mostly includes typical warning colors: tans, yellows, oranges, red, black and white. Moderate in size (7-10mm), these insects usually occur in aggregations and although not common, have been observed from as low as 1.5m above ground level and up to at least 30m feeding on vegetation, from river edge to

interior. In general, this genus appears to be quite skittish and difficult to approach.

*Dysyncritus* (Figure 8). Around 5-6mm total length. Some of the simplest pronotal shields are typical of this genus. The pronotum has a low dorsal keel and variable coloration with creams and browns primarily. The surface of the pronotum is punctate throughout. *Dysyncritus* has been observed solitarily or in loose aggregations of a few scattered individuals on low vegetation in edge situations.

*Heteronotus* (Figure 9). These rather large treehoppers (7-11mm) have the pronotum developed into a lumpy structure with a pair of laterally extending long sharp spines anteriorly and another 3 shorter spines posteriorly. Coloration tends to mimic wasps in general; some have typical aposematic combinations of oranges, yellows and blacks, while at least one species is completely black. Mostly solitary but may occur in very small groups. At least one individual was seen to be plagued by mites.

*Nassunia* (Figure 10). Relatively small (5-7mm) treehoppers with a low dorsal keel and humeral points on the pronotum. Colors can vary widely but some are quite iridescent/metallic. *Nassunia* has been reported to occur in groups but has been observed individually as well, especially in treefall gaps in the midst of mature terra firme forest.

## Subfamily Membracinae

### Tribe Hoplophorionini

*Potmia* (Figure 11). Medium to large treehoppers (8-12 mm), mostly green, robust, with a forward pointing short thick horn, somewhat flattened laterally and often with red markings. Sometimes aggregate (up to a few dozen individuals) on small branches and twigs, preferring areas that are mostly shaded. Eggs are laid in groups on bark and are guarded by the female sitting in a position that essentially covers the egg mass. Extended parental care is typical. Nymphs occur in groups and are often colored deep red with some black markings. *Notogonioides* (Figure 12) is similar but somewhat smaller and tends to have the horn directed more upward than forward. This latter genus has only been observed solitarily, even when nesting.

*Umbonia* (Figure 13). A close relative of *Potmia* with which it shares many life history traits, this genus has a more well-developed horn that is swept up and curves backward. Most species are green and some have reddish markings. Some of the showiest and largest membracids (9-17mm). Nymphs are aposematically colored, black and red, and closely tended by their mothers.

### Tribe Hypsoprurini

*Cladonota* (Figure 14). Undoubtedly one of the strangest looking groups of all insects, having the pronotum produced into oddly shaped extensions. These 'horns' may

occupy a large proportion of the body length (or profile); sizes range from very small to large (4-13mm). These treehoppers tend to be solitary but can occur in very small groups; like many membracids, they may be observed for days on the same plant if undisturbed. Colors range from grays to browns and black apparently as camouflage on bark, of twisted dry leaf fragments or mimicry of fungally-infected dead hymenopterans.

*Hypsoprora* (Figure 15). Tiny treehoppers (3-5mm) with a disproportionately large thick horn in some. The dorsum is provided with small spines or prickles that are evident in profile. Appear to be rather solitary but they have been observed in loose aggregations of several individuals; infrequently seen in or near minor disturbances or areas of advanced second growth in terra firme.

*Notocera* (Figure 16). These small insects (4-7mm) are typically black with varying amounts of white wax appearing in irregular patches. The pronotum is rather lumpy and punctate with a pair of horns (varying greatly in length) diverging upward and curving posteriorly; tiny spines are evident along the profile of the dorsum. Adults are solitary but nymphs occur in groups and are tended by ants. They have been observed most frequently around treefall gaps within mature terra firme forest.

*Philya* (Figure 17). Although quite distantly related, these single-horned treehoppers superficially have much in common with *Lycoderes* (Figure 36). Adults (6-9mm) are also solitary and not tended by ants. They show up on the upper and lower surfaces of leaves, on leaf petioles and small stems from one to three meters above the ground. Little is known about life history details [4].

### Tribe Membracini

*Bolbonota* (Figure 18), *Leioscyta* (Figure 19). Several closely-related genera basically look like tiny bits of caterpillar frass (rough textured pronotum, inflated body shape) from a distance; mostly 2-5mm long and dark in general coloration. These genera are difficult or impossible to distinguish in the field. They usually occur in small groups scattered along the major veins of large leaves and/or developing leaves, especially on melastomes in edge situations. Regularly attended by ants, especially *Crematogaster*.

*Enchenopa* (Figure 20), *Enchophyllum* (Figure 21). Two similar genera that have a highly compressed pronotal horn rounded in profile at its tip. Primarily black but most have 1 or 2 large white to yellowish rectangular patches on the dorsum. Adults are usually rather solitary but occasionally, a few can be seen within decimeters of one another. Several *Enchenopa* egg masses (white, foamy) may occur together on small twigs or leaves; nymphs are tended by ants but adults are not. The very similar genus *Campylenchia* (Figure 22) tends to be more tan or brown; some consider it a synonym of *Enchenopa*. Sizes range from small to large (4-14mm).

*Havilandia* (Figure 23). A genus of small (5-6mm), inconspicuous treehoppers. Pronotal shape is reminiscent of *Membracis* in being compressed laterally and

rounded in profile, but it is much lower in overall extension. Coloration is plain dark brown. Observed nesting and with nymphs on hanging epiphyte roots between 1 and 2m from the forest floor during the month of November in both terra firme and varzea settings. Adults were solitary or accompanied by progeny. Small patches of white exudates were deposited by the mother in a spiral pattern on the roots occupied.

*Membracis* (Figure 24). This genus is one of the most frequently seen, because they are relatively common and large (8-13mm) often occupying areas adjacent to human activity, and due to their contrasting black-and-white markings (for most species) in adults or brilliant white, wax-covered nymphs. These species have some of the tallest, most laterally compressed, sail-like pronota of all, making them almost as tall as long in some species. In profile, the shape of the pronotum may range from resembling a rounded-off right triangle to nearly a semi-circle. In length, the pronotum may be shorter than the body or extend to the wing tips. *Membracis* usually occurs in small numbers, scattered about on shrubby vegetation in edge situations. Adults remain with their offspring beyond their molting into the adult form. The egg mass, similar in volume to the adult body or somewhat larger, is bright white and appears spongy; it is placed on the surface of small stems and tended by the mother.

*Phyllotropis* (Figure 25). The members of this genus were included in *Membracis* historically and are quite similar in form, resembling that genus but usually the anterior profile leans a little forward of vertical in contrast to most *Membracis*; *Phyllotropis* usually have some orange markings and appear to be more solitary. This genus tends to occur in smaller numbers than *Membracis*; after the incubation period, adults become separated from their young offspring, sometimes moving a few meters higher than the nymphs. Nests are typical for the tribe, white egg masses as much as 3cm in length laid along stems less than 1cm thick.

#### Tribe Amastrini

*Amastris* (Figure 26). The species here are small to moderate in size, 3-6mm in length and have a dorsal keel more elevated than in *Dysyncritus* but much less than *Membracis*; the pronotum is somewhat roughened. These treehoppers are usually green, greenish or tan and tend to occur in small groups at or near branch tips in open habitats. They have been observed on leaf undersides of the melastome, *Miconia grandifolia*. Although not closely related, *Vestistilus* (Figure 30) has a similar appearance but with more well-developed suprahumeral horns.

*Lallemandia* (Figure 27). Small treehoppers (6-7mm) with the pronotum rather lumpy in appearance, covered with dense hairs. Only observed on rare occasions, always solitary. Nothing is known of their biology.

#### Tribe Ceresini

*Cyphonia* (Figure 28). Moderate sized treehoppers with one pair of sharp lateral horns and three posteriorly-directed, inflated, pointed pronotal extensions. Observed solitarily in edge situations on rare occasions. Essentially nothing is known of its biology.

*Eucyphonia* (Figure 29). Moderately sized treehoppers quite similar to *Cyphonia* with 3 sharp horns directed backward. On the anterior portion of the pronotum, low protuberances and a pair of very short sharp lateral horns. They have been not been observed alive at Tiputini but one individual was generously shown to me after having been incidentally captured in a flight intercept trap by K. Riley in terra firme understory.

*Vestistilus* (Figure 30). Small to medium insects with a keeled pronotum and short, sharp-pointed laterally-directed humeral horns. Typical coloration includes a rather golden or greenish field with or without lighter markings. Only observed at Tiputini when incidentally attracted to artificial lights. Nearly nothing is known of its biology anywhere in its range [4].

#### Tribe Polyglyptini

*Adippe* (Figure 31). Small to medium sized tree hoppers that have the pronotal shield expanded laterally but with a low median keel; body somewhat compressed. The members of this genus are often aposematically colored with series of large bright spots (round or irregular) on a black background. They generally occur in groups and with ants. Females lay a few dozen eggs in the surface tissue of plant stems and sit over the clutch until hatching. Nymphs from several nests aggregate tightly while developing.

#### Tribe Tragopini

*Anobilia* (Figure 32), *Horiola* (Figure 33). These genera have a broad, low pronotum which is polished smooth and shiny, giving them the appearance of small chrysomelid beetles. A common species, *Anobilia luteimaculata*, has irregular bright white spots on a field of dark red-brown. *Horiola* typically has variable curving light-colored lines on its pronotum forming an X or bat wing pattern. Both of these genera are between 3 and 6mm long as adults and live in small to medium aggregations; almost always associated with ants; *Horiola* is often partially covered by detritus collected into tunnel-like structures by the ants.

*Todea* (Figure 34). Similar in general shape and size to the previous two genera but the pronotal surface is not shiny but rather presents a matte texture; a pair of prominent flattened suprahumeral horns is present. Coloration is light to medium brown, lending camouflage to these insects that occupy small twigs of the same colors. These treehoppers have been observed in small, tight aggregations of up to 15 adults in moderate gaps in terra firme on understory treelets of less than 3m height.

Like *Horiola*, they lay eggs in groups in the superficial layer of bark and the mother sits astride them until hatching. Nymphs remain in close proximity to the nest site. Adults and immatures are tended by ants, especially *Camponotus*.

### Tribe Stegaspidini

*Bocydium* (Figure 35). This genus has one of the most highly branched and delicate pronotal ornaments, sometimes compared to a classic anemometer; the shape, although extravagant, blends in well with small ants that often occur on the same vegetation with these treehoppers. There are no apparent differences in pronotal development between sexes but females are slightly larger than males. They are normally considered solitary or very nearly so but have been observed at the Tiputini Biodiversity Station in mating aggregations of 350 or more individuals on *Ludwigia* at 0.5-2.5m above ground. It has been suggested that this may represent lekking behavior (S. McKamey, R. Cocroft, N. Tataric, pers. comm.).

*Lycoderes* (Figure 36). Single-horned treehoppers (7-9mm) usually having the horn rounded in cross section (although somewhat compressed in some). Adults are solitary and not tended by ants; they show up on the upper and lower surfaces of leaves, on leaf petioles and small stems from one to three meters above the ground. Little is known about life history details [4].

*Stegaspis* (Figure 37). Another genus of laterally compressed treehoppers, their colors are more subdued ranging among the browns, resembling bits of dry leaves; tibiae are broad and flat to complete the camouflage. Size ranges from 6-8mm generally and sexual dimorphism is evident in the pronotal outline; only females have an elevated section anteriorly. Several individuals may be found on the same plant but they are often quite separated. In groups observed on *Miconia* (Melastomataceae) and *Ludwigia* (Onagraceae), females outnumbered males by at least ten to one. Nymphs are sometimes tended by ants but not in large numbers. *Paracentronodus* (Figure 38) is similar in many regards but the keel is much lower and the body is not so compressed; while the tibiae are flattened, they are not as broad as in *Stegaspis*.

### Conclusions

Treehoppers are good representatives of the state of our understanding and knowledge (or more appropriately, the lack thereof) of the most abundant group of organisms in Amazonia, the arthropods. There are many species and some are common but because they are small, few people take note of them. Like many members of the phylum, they are relatively easy to recognize to the family level, somewhat more challenging at the genus level and often extremely difficult at the specific level, certainly with some exceptions. It is simply impossible to

identify most species in the field. A highly limited number of specialists have the expertise necessary to make comparisons of wing venation and genital structure of collected specimens, but such tasks are only performed in laboratories with sophisticated instruments, mostly for magnification and micro-dissection. Few individuals can manage the work of discovery, classification, identification and investigations about the lives of such organisms in the field or on their evolution through the detailed study of specimens in research collections and museums. Therefore, if we wish to identify individuals to species, it would be necessary to make comprehensive collections and to make scientific specimens available to those few experts. This list of 38 genera represents a preliminary contribution to our understanding of the insect taxa occurring in Amazonian Ecuador.

### Acknowledgements

I appreciate the support of Rex Cocroft of the University of Missouri, Jason Cryan of the New York State Museum, Chris Dietrich of the Illinois Natural History Survey and especially of Stuart McKamey of the United States Department of Agriculture for their help in identifications and the clarification of many details of treehopper life. Thanks to Amy Mertl and Kari Ryder-Wilkie for their assistance in confirming genus identifications for ants. For criticisms that have truly improved this article, gratitude is due to two anonymous reviewers.

### References

- [1] Wood, T. 1993. "Diversity in the new world Membracidae". *Ann. Rev. Ent.*, 38: 409 – 435.
- [2] McKamey, S. 1998. "Taxonomic catalogue of the Membracoidea (exclusive of leafhoppers)". *Mem. Am. Entomol. Inst.*, 60: 1 – 377.
- [3] Cocroft, R. 2001. "Vibrational communication and the ecology of group-living, herbivorous insects". *Am. Zool.*, 41: 1215 – 1221.
- [4] Godoy, C.; Miranda, X.; and Nishida, K. 2006. "Membrácidos de la América Tropical. Treehoppers of Tropical America". INBio. Costa Rica, 352.

## Appendix

Family	Subfamily	Tribe	Genus		
Aetalionidae			<i>Lophyraspis</i> <i>Tropidaspis</i>		
Membracidae	Darninae	Cymbomorphini	<i>Cymbomorpha</i>		
		Darnini	<i>Sundarion</i>		
		Hyphinoini	<i>Hanstruempelia</i>		
		Hemikypthini	<i>Hemikyptha</i>		
	Heteronotinae	Heteronotini	<i>Anchistrotus</i> <i>Dysyncritus</i> <i>Heteronotus</i> <i>Nassunia</i>		
		Membracinae	Hoplophorionini	<i>Notogonioides</i> <i>Potnia</i> <i>Umbonia</i>	
				Hypsoprurini	<i>Cladonota</i> <i>Hypsoprora</i> <i>Notocera</i> <i>Philya</i>
					Membracini
	Smiliinae	Amastrini	<i>Amastris</i> <i>Lallemandia</i>		
			Ceresini	<i>Cyphonia</i> <i>Eucyphonia</i> <i>Vestistilus</i>	
		Polyglyptini	<i>Adippe</i>		
			Tragopini	<i>Anobilia</i> <i>Horiola</i> <i>Todea</i>	
		Stegaspidae	Stegaspidini	<i>Bocydium</i> <i>Lycoderes</i> <i>Paracentronodus</i> <i>Stegaspis</i>	

Table 1: Classification of treehopper genera confirmed to occur at TBS





Figure 1: Aetalionidae, *Lophyraspis* sp., adults with nymphs, attended by an ant.



Figure 2: Aetalionidae, *Tropidaspis* sp., adult female nesting, attended by ants.



Figure 3: Membracidae, *Cymbomorpha* sp., adult, lateral view.



Figure 4: Membracidae, *Sundarion* sp., adult, dorsal view.



Figure 5: Membracidae, *Hanstruempelia ceresina*, adult female, antero-ventral view.



Figure 6: Membracidae, *Hemikyptha* sp., adult, antero-lateral view.





Figure 7: Membracidae, *Anchistrotus* sp., adult, lateral view.



Figure 9b: Membracidae, *Heteronotus lineata*, adult, lateral view.



Figure 8: Membracidae, *Dysyncritus* sp., adult, lateral view.



Figure 10: Membracidae, *Nassunia* sp., adult attended by ant.



Figure 9a: Membracidae, *Heteronotus* nr. *Pompanoni*, adult, lateral view.



Figure 11a: Membracidae, aggregation of *Potnia gladiator*, adults and nymphs.



Figure 11b: Membracidae, *Potnia gladiator*, adult female on nest.



Figure 14: Membracidae, *Cladonota cf. Biclavatus*, adult, lateral view.



Figure 12: Membracidae, *Notogonioides* sp., adult female on nest.



Figure 15: Membracidae, *Hypsoprora* sp., adult, lateral view.



Figure 13: Membracidae, *Umbonia* sp., adult, lateral view.

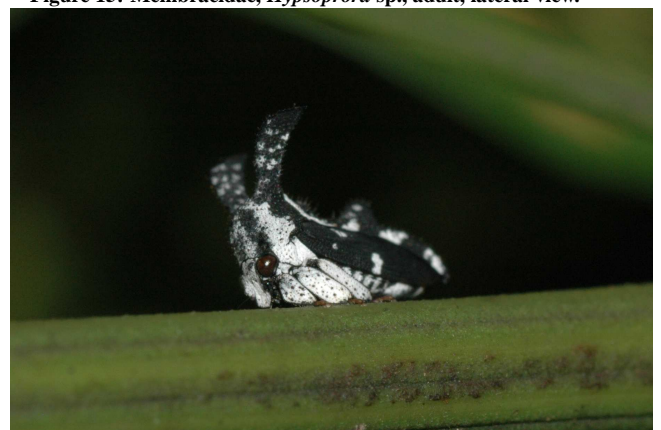


Figure 16: Membracidae, *Notocera* sp., adult, ventro-lateral view.





Figure 17: Membracidae, *Philya* sp., adult, lateral view.



Figure 19a: Membracidae, *Leioscyta* sp., adult female on nest, attended by ant.



Figure 18: Membracidae, *Bolbonota* sp., adult with ant, lateral view.



Figure 20a: Membracidae, *Enchenopa* sp., adult, lateral view.

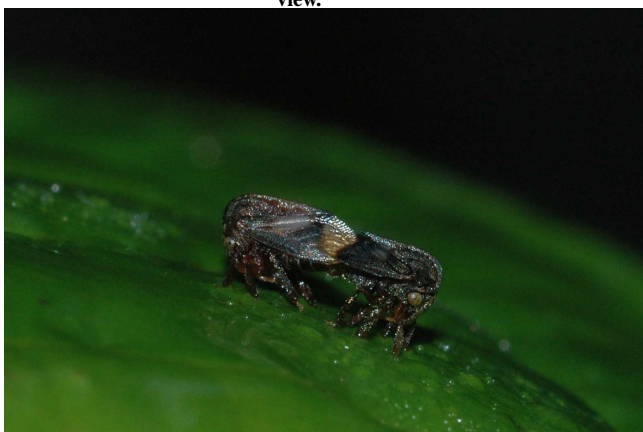


Figure 19b: Membracidae, *Leioscyta* sp. mating, lateral view.



Figure 20b: Membracidae, *Enchenopa* sp., adult with nest, lateral view.





Figure 21: Membracidae, *Enchophyllum* sp., adult, lateral view.



Figure 22: Membracidae, *Campylenchia* sp., adult, lateral view.



Figure 23: Membracidae, *Havilandia* sp., adult with nymph and white exudates.



Figure 24a: Membracidae, *Membracis* sp., adult with wax-covered nymphs.



Figure 24b: Membracidae, *Membracis* sp., adult, lateral view.



Figure 25: Membracidae, *Phyllotropis* cf. *cingulata*, adult, lateral view.





Figure 26a: Membracidae, *Amastris* sp., adult, lateral view.



Figure 28: Membracidae, *Cyphonia* sp., adult, dorsal view.



Figure 26b: Membracidae, *Amastris* sp., adult, lateral view.



Figure 29: Membracidae, *Eucyphonia* sp., adult, lateral view.



Figure 27: Membracidae, *Lallemandia nodosa*, adult, lateral view.



Figure 30: Membracidae, *Vestistilus* sp., adult, antero-lateral view.





Figure 31: Membracidae, *Adippe* sp., adult aggregation with nymph and ant.



Figure 34: Membracidae, *Todea cf. cimicoides*, adult female on nest, with nymphs.



Figure 32: Membracidae, *Anobilia luteimaculata*, adult female on nest, with nymphs, attended by ants.

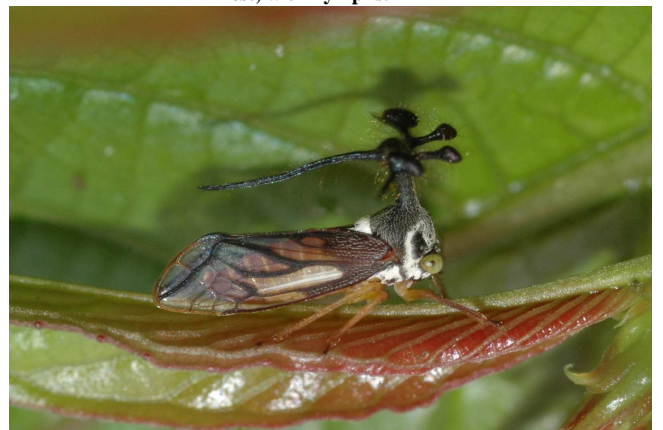


Figure 35: Membracidae, *Bocydium* sp., adult, lateral view.

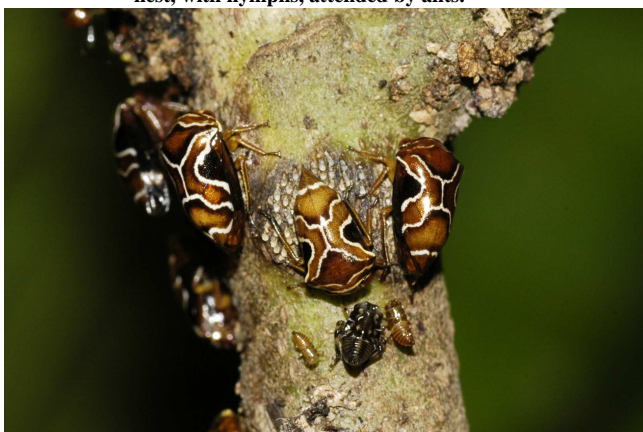


Figure 33: Membracidae, *Horiola* sp., female on nest, adults with nymphs.



Figure 36: Membracidae, *Lycoderes nr. Phasiana*, adult, lateral view.



Figure 37a: Membracidae, *Stegaspis fronditia*, adult female, lateral view.



Figure 37b: Membracidae, *Stegaspis fronditia*, adult male, lateral view.



Figure 38: Membracidae, *Paracentronodus* sp., adult, antero-lateral view.

## Modelos descriptivos de corona para Laurel (*Cordia alliodora*) bajo sistemas agroforestales en el Bosque Protector Sumaco, Ecuador

Álvaro Cañadas<sup>1\*</sup>, Mykola Korol<sup>2</sup>, Carlos Zambrano<sup>3</sup> y Bolívar Camacho<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Av. 17 de Julio 5-21 y José Córdova, Ibarra, Ecuador. Teléfono: 00593-6-2997800.

<sup>2</sup>Universidad Técnica Estatal Forestal de Ucrania, Tschuprynkastr; 103, 79044 Lviv, Ukraine.

<sup>3</sup>Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Km 1 1/2 vía S<sup>o</sup> Domingo, Ecuador.

<sup>4</sup>Universidad Técnica de Manabí, Av. Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Ecuador

\*Autor principal/Corresponding author, email: alvarogustavo.canadaslopez@alumni.uni-goettingen.de

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 10/01/2012. Aceptado/Accepted: 10/15/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

The ability to describe the shape and size of a tree crown is an important pre-requisite for the estimation of the stability of standing forest trees. The paper describes a crown model for laurel in agro forestry systems of the Protected Forest Sumaco. The empirical data base includes altogether 207 Laurel sample trees. A stem analysis was carried out for each sample tree crown ratio, crown length, crown surface area and crown projection. The sample trees were grown in 3 agro forestry stands which had been subjected to different thinning regimes. To determine the crown width a lineal relationship existed between DBH and crown width. The modification of the models in direction toward a non-lineal relationship not showed improvements in the estimate of this parameter. The crown base, the model proposed by Ďurský (2000) was demonstrated the best  $r^2$  (0.84). The distortion value of this model was closed to the ideal value of 0 (0.0083) and mean squared error was 1.49 m. This model was adjusted to the characteristics of Laurel. It was developed a model in order to determinate the crown length. The model presented an  $r^2$  of 0.71. This means that, 71 % of total variance observed in Laurel can be explained for this parameter. The developed models of this research could be used to establish and calculate other forest attributes of Laurel.

**Keywords.** crown base, crown model, crown ratio, crown length, crown projection

### Resumen

La habilidad de describir la forma y tamaño de la corona de los árboles es un importante pre-requisito para la estimación de la estabilidad de los árboles de un bosque. Este artículo describe modelos de corona para el Laurel (*Cordia alliodora*), adaptadas a las condiciones de crecimiento de sistemas agroforestales. La base de datos empíricos incluye un total de 207 observaciones. Un análisis de corona basado en el largo, ancho, base de corona, largo, radio y proyección de corona. Los árboles muestreados han crecido en sistemas agroforestales de 10 años de edad, los cuales fueron raleados a diferentes intensidades. Para determinar el ancho de corona existió una relación lineal entre DAP y ancho de corona. La modificación de los modelos en dirección hacia una relación no lineal no muestra mayores mejoramientos en la estimación de este parámetro. La base de la Corona, el modelo desarrollado por Ďurský (2000) es el que mayor  $r^2$  (0.84) presentó, los valores de distorsión del mencionado modelo se acercan a los valores ideales de 0 (0.0083) y el cuadrado medio del error fue de 1.49 metros. Este modelo se ajustó a las características del Laurel. Se desarrolló un modelo para establecer el largo de la corona, el cual presentó un  $r^2$  de 0.71. Esto significa que únicamente el 71 % de la variación observada en el Laurel para este parámetro puede ser explicada. Los modelos desarrollados dentro de esta investigación pueden ser utilizados para comprobar y calcular otro tipo de atributos forestales del Laurel.

**Palabras Clave.** ancho de la corona, base de corona, largo de la corona, radio de la corona, proyección de corona



## Introducción

De acuerdo al Ministerio del Ambiente del Ecuador, MAE [1] la superficie de bosques nativos en el Ecuador, abarca aproximadamente 8.8 millones de hectáreas. De estas, los manglares ocupan 227,300.00 has. Por su difícil accesibilidad, en la actualidad únicamente 600 mil has de bosques nativos presentan condiciones económicas para ser manejados silviculturalmente, mientras que las tierras con potencial para ser forestadas alcanzan una extensión de más de 2 millones de hectáreas. Las plantaciones forestales tan sólo representan un total de 160,000.00 has [2]. De ahí que, se cree que en países tropicales el recurso bosque es abundante y que esta esperando ser explotado, de manera que la atención en el Ecuador se ha centralizado más sobre la explotación y utilización antes que sobre su plantación y crecimiento. Desde este último punto de vista, la tendencia en nuestro país ha sido considerar a la plantación de árboles como un arte, sin prestar atención a los costos involucrados y sin preocuparse aún en cual va a ser el futuro preciso de su utilización [3]. La reflexión sobre este argumento radica en que los productos forestales, a diferencia de otras materias primas, nunca se planifican para satisfacer las necesidades de una industria cada vez más creciente, sino simplemente se establecen plantaciones amparadas en el supuesto de que de algún modo estas van a ser explotadas, aprovechadas y utilizadas [4, 5].

Los forestales necesitan tener información útil sobre diversos parámetros concernientes a árboles y rodales para mejorar la planificación forestal con la finalidad de tomar decisiones sobre un manejo silvicultural apropiado [6]. La modelación forestal suministra información adicional para la planificación y estimación de producciones. El modelaje forestal representa el promedio de cómo los árboles crecen y como la estructura del bosque son modificados. De ahí que, estos se constituyen en una herramienta flexible para predecir, con lo cual se puede enunciar una mejor formulación de políticas [7, 8]. Los modelos de crecimiento forestal son entonces una herramienta útil para comparar alternativas de tratamiento. Dependiendo del nivel de detalle, de la disposición de datos y del grado de precisión requerida en la estimación, se dividen a los modelos forestales dentro de la siguiente tipología [7, 8]:

- Modelos de predicción regional y crecimiento de rodales: Producen información agregada sobre el desarrollo de la población de árboles dentro de un determinado juego de condiciones ambientales y una modificación dada de los atributos de un rodal por interferencia humana u otro tipo de perturbaciones.
- Modelos de clase de tamaño: Proyectan el desarrollo de un limitado número de árboles que representa la población total, cada árbol representativo tiene los atributos de una sub-población de árboles que son similares de una u otra manera.
- Modelos de árbol: Tratan el detalle de la morfología de coronas, ramas, forma de fuste y crecimiento de la raíz.

Modelos simples de árbol incluyen el incremento de diámetro-altura, mortalidad y sub-modelos como modelos de corona, los cuales describen la forma de la corona, como también el desarrollo de las mismas. El objetivo de tales modelos es predecir el desarrollo de un simple árbol dentro de un determinado rodal [9]. Por otro lado, la condición básica para el crecimiento arbóreo es la asimilación de CO<sub>2</sub> que tiene lugar en la copa y que está ligada con la transpiración de manera directa. A causa de dicha asimilación se mantiene el flujo de savia vertical que garantiza que el agua y los nutrientes lleguen a las hojas y por lo tanto, representa una condición esencial para la fotosíntesis [10]. La distribución de los órganos de asimilación en las ramas y ramillas de copa, sirve a su vez para garantizar la obtención de la radiación necesaria para la fotosíntesis [11]. Pero la copa de los árboles es, además, un “tesoro de la diversidad” sin investigar. Por ejemplo, en las copas de los árboles tropicales se han descubierto en los últimos años más especies nuevas de insectos que en cualquier otro hábitat de la Tierra [12].

La copa de los árboles no es una estructura estática, sino que cada año se modifica con la formación de nuevos brotes, ramillas y ramas. Este cambio ocasiona una nueva distribución espacial de las hojas o acículas. Una de las causas que motiva este cambio es la competencia de copas dentro de un rodal [13, 14]. Los requerimientos de espacio de las raíces y de la copa, que se incrementan con la edad, solo se pueden satisfacer si una parte de la población desaparece, reduciendo temporalmente los efectos de la competencia. Esta competencia, por la cual los individuos de los estratos inferiores ven impedido su desarrollo, se puede apreciar en las copas de los árboles. La forma de la copa y en especial su cobertura permite sacar conclusiones sobre las condiciones de crecimiento, la silvicultura y la competencia a la que ha estado sometido un árbol en concreto [15]. El estudio fue conducido en la provincia de Napo, parroquia de Wamaní, coordenadas UTM 9920000 y 2150000, a una elevación de 1.160 m sobre el nivel del mar con una temperatura promedio de 21°C (Figura 1).

La corona de un árbol tiene diversas funciones, no solamente para el árbol en si, sino que también para el medio ambiente en general. La investigación sobre la forma y desarrollo de la corona forestal es de actualidad [16]. La asimilación del carbono y la respiración son procesos en los cuales a través de la oxidación, una parte de la energía es liberada, dependiendo claro esta de la especie forestal y el tamaño de la corona de los árboles. Por tal motivo, la modelación de corona a menudo es utilizada como una variable de pronóstico para determinar la evaluación del crecimiento de los árboles [7]. Por otro lado, la forma de la corona de los árboles es muy

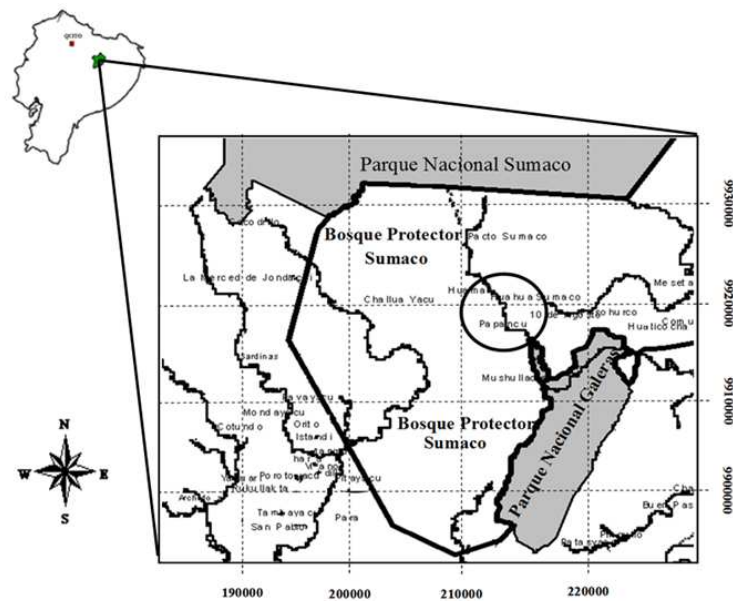


Figura 1: Ubicación geográfica del área de investigación agroforestal, parroquia Wamaní, provincia de Napo.

diversa y está influenciada por varios factores como la información genética, la edad, disponibilidad de espacio relacionadamente con la intensidad, forma de los raleos y las condiciones de sitio. Una influencia definitiva sobre el desarrollo de la corona y con esto la estabilidad del rodal contra el viento tiene la forma de manejar a un bosque [17].

La dimensión de la corona de los árboles tiene adicionalmente un gran significado para investigaciones ecológicas y económicas del crecimiento forestal, dado que, con su biomasa y área foliar actúa como el promotor primario de crecimiento arbóreo [18]. En el Ecuador existe muy pocos estudios sobre la descripción y el desarrollo de la corona en sistemas agroforestales provenientes del manejo de la regeneración natural en la Región Amazónica Ecuatoriana del Laurel (*Cordia alliodora*) [3]. La presente investigación tiene como objetivo probar diversos modelos sobre el ancho de corona, base de corona, largo de corona adaptadas a las condiciones de crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales, en las comunidades de Wamaní, Wawa Sumaco y 10 de Agosto, Bosque Protector Sumaco.

## Métodos

### Área de Estudio

La estación pluviométrica representativa para el área de estudio es la estación de Challua Yacu, la cual registra una precipitación media anual de 4.000 mm/año y su distribución durante el año es representada en la Figura 2 [19].

En la región del Tena en el mes de diciembre se establece un sistema predominante de vientos Alisios, los mismos que por efecto de la rotación terrestre son desviados en dirección NE. Estos vientos se manifiestan en

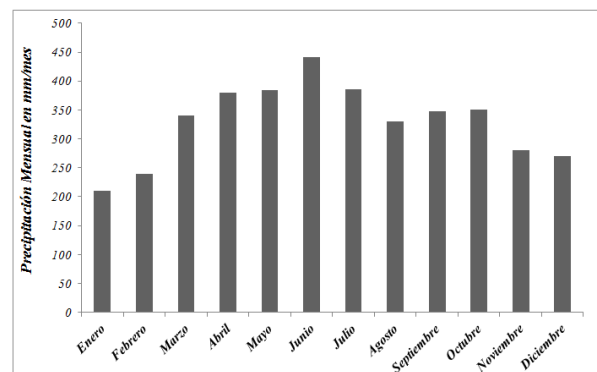


Figura 2: Distribución de la precipitación mensual en el área de Chalua Yacu.

forma de fuertes vientos provocando la disminución de vapor de agua y por ende la baja de la pluviosidad en la región. En los meses de abril y marzo, donde la corriente de El Niño (Calido y Húmedo) se encuentra en su apogeo, se suma a este, la presencia en la región amazónica de los vientos Alisios monzónicos en dirección NO cargados de vapor de agua, lo cual da como resultado el primer pico de lluvias en la región. Entre junio y julio mientras todo el Ecuador se encuentra un periodo seco, en la Cordillera Oriental se presenta el período de máxima lluvia. La causa de este fenómeno es la presencia de los vientos Alisios en dirección SE, los cuales están relacionados con una corriente fría proveniente del hemisferio sur. Por otro lado, cuando la Tierra va hacia el hemisferio sur después del equinoccio (octubre), la región oriental se ve influenciada por las corrientes de los vientos Alisios en dirección NO y la desviación de los mismos en dirección NE del hemisferio norte, provocando en la región el segundo pico de lluvias [20].

Los suelos de la comunidad Wamaní, Wawa Sumaco y 10 de Agosto pertenecen al gran grupo de suelos de

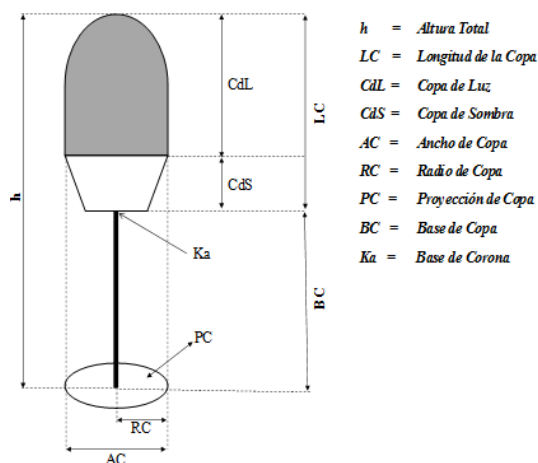


Figura 3: Representación esquemática del perfil de corona de un árbol.

nominados Hydrandepts. Estos suelos son generalmente negros en su horizonte superficial y pardo amarillo en los horizontes subsiguientes. Su capacidad de retención de humedad es mayor a la capacidad de campo. Por esta razón, los procesos de lixiviación (lavado) son continuos y la meteorización de los minerales primarios es casi completa, liberando cationes de  $Al^+$  y cationes  $H^+$ , los cuales contribuyen a la acidificación del suelo. Por otro lado, la acidez del suelo va disminuyendo conforme se aumenta la profundidad del perfil del suelo, esto se debe principalmente a la poca actividad radicular de la vegetación en esta área [21]. La zona de estudio pertenece a la zona de vida de Bosque Húmedo Tropical [22].

### Métodos de campo

La Figura 3 muestra un modelo simplificado de una copa de un árbol con algunos de los parámetros característicos utilizados en la práctica forestal para estimar el crecimiento de la biomasa o para juzgar la estabilidad de un rodal. Para una descripción cuantitativa de la corona de Laurel bajo sistemas agroforestales en esta investigación, diferentes mediciones fueron obtenidas de acuerdo a la Figura 3 (i.e., largo de la corona, ancho de la corona, diámetro a la altura del pecho, altura comercial y altura total).

Para la determinación de los parámetros de la función de ancho de corona y base de corona se utilizó un Hipsómetro AGA, Esc 1:20, un total de 207 árboles de tres sistemas agroforestales de Wamaní (458 árboles/Ha., 10.7 años de edad), Wawa Sumaco (375 árboles/Ha., 9 años de edad) y 10 de Agosto (325 árboles/Ha., 8.5 años de edad) fueron medidos. Las características generales de los árboles utilizados para este análisis se presentan y resumen en la Tabla 1.

### Modelos para determinar el ancho de la corona

En la presente investigación fueron utilizadas funciones lineales y no lineales, utilizando las variables como ancho de corona, diámetro a la altura del pecho y largo de

corona para probar el modelo que más se ajuste para la descripción de ancho de corona del Laurel bajo de sistemas agroforestales, en el Bosque Protector Sumaco. Las funciones que fueron empleadas en esta investigación son presentadas en la Tabla 2.

### Modelos para determinar la base de corona

Para la descripción de la base de corona ( $Ka$ ) del Laurel bajo sistemas agroforestales, en el Bosque Protector Sumaco, se utilizaron los modelo propuesto por: el Programa Silva [23], el modelo empleado por el Programa de Modelación de Crecimiento FOSTER [24], la versión modificada del Programa de Modelación de Crecimiento FOSTER [9], el modelo planteado por Durski [25], el modelo desarrollado por Nagel [26]. y el modelo propuesto por Monserud [27], cuyas funciones son presentados en la Tabla 3.

### Modelos para determinar el largo de corona

Para la estimación de este parámetro se desarrolló un modelo no lineal, el cual empleó una serie de variables que permitieron explicar el largo de corona en sistemas agroforestales dentro del Bosque Protector Sumaco.

### Evaluación y validación de los modelos

Todas las estimaciones de los parámetros empíricos de los modelos propuestos fueron evaluadas mediante el programa STATISTICA [28], de acuerdo al cuadrado medio del error, el cual fue el menor posible, que el número de parámetros del modelo propuesto sea lo menor posible (principio de simplicidad), que el error estándar de las estimaciones de los parámetros sea lo más pequeño posible y que los coeficientes estimados no se encuentren altamente correlacionados [29]. Adicionalmente, se realizó una evaluación cuantitativa de modelos de crecimiento que puede incluir una caracterización del error en términos de su magnitud y la distribución de los residuos, probar su distorsión, precisión y un análisis de sensibilidad para identificar aquellos componentes que tienen gran influencia en los predictores [16].

La asunción de un modelo de regresión es que el error  $\varepsilon$ , por ejemplo en  $Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$  es aditivo, independiente y distribuido normalmente, con un promedio y una constante variación no conocida. Estas características representan condiciones ideales, que normalmente no son observadas, cuando se realizan modelos.

Datos del Modelo de Ancho de la Corona (N = 207)			
	Mín.	Máx.	Prom.
DAP	10.0	37.5	23.9
Altura Total	7.9	23.6	17.7
Ancho de Corona	1.3	5.6	3.3
Base de Corona	5.6	18.1	11.5

Tabla 1: Datos generales de los árboles utilizados para este análisis de corona (N = número de árboles; DAP = diámetro a la altura del pecho; Mín. = mínimo; Max. = máximo; Prom. = media), Bosque Protector Sumaco, provincia de Napo.

Nominación	Función
AC <sub>1</sub>	$AC = a + b * dap$
AC <sub>2</sub>	$AC = a + b * dap + c * h$
AC <sub>3</sub>	$AC = a + b * dap + c * h + d * LC$
AC <sub>4</sub>	$AC = a * dap^b$
AC <sub>5</sub>	$AC = a * dap^b * h^c$
AC <sub>6</sub>	$AC = a * dap^b * h^c * LC^d$
AC <sub>7</sub>	$\ln(AC) = a + b * \ln(dap)$

*AC = Ancho de corona en m; dap = Diámetro a la altura del pecho en cm; h = Altura total en m; LC = largo de la corona; a, b, c, d = parámetros del modelo; ln = logaritmo natural*

Tabla 2: Funciones para determinar en ancho de la corona adaptada para Laurel, en sistemas agroforestales, Bosque Protector Sumaco, provincia de Napo.

Nominación	Función
Ka-Silva	$Ka = h * \left[ 1 - e^{-(a+b*h/dap+c*dap)} \right]$
Ka-Forest	$Ka = h * e^{a*h^b*(dap+c)^d}$
Ka-Forest modificado	$Ka = h * e^{a*h^b*dap^c}$
Ka-Đurský	$Ka = h * \left( a + \left[ e^{b*\left(\frac{h_i}{dap_i} - 0,4\right)} \right] \right)$
Ka- Nagel	$Ka = h * \left[ 1 - e^{-\left(a+b*\frac{h_i}{d_i}\right)^2} \right]$
Ka- Monserud	$Ka = h * e^{(b_1*h^{b_2}*d)}$

*Ka = base de corona en m; h = Altura total en m; dap = Diámetro a la altura del pecho en cm; a, b, c, d = parámetros del modelo*

Tabla 3: Funciones para determinar el ancho de la corona adaptada para Laurel, en sistemas agroforestales, Bosque Protector Sumaco, provincia de Napo.

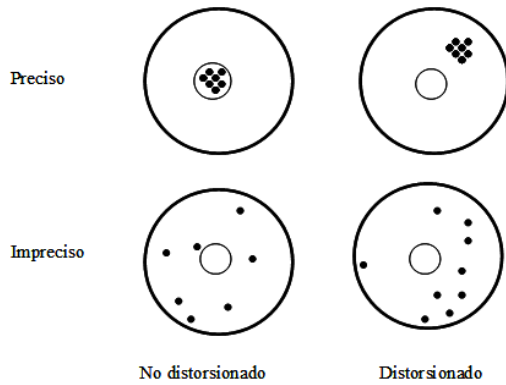


Figura 4: Ilustración del concepto de precisión y distorsión. Una predicción precisa y no distorsionada es exacta.

El error esta caracterizado por su magnitud y la distribución de sus residuos. Estos pueden ser evaluados mediante la comparación del modelo propuesto y el conjunto de observaciones. Conceptos importantes para la evaluación de modelos es la distorsión y precisión, los cuales determinan la exactitud de la predicción (Figura 4).

En esta contribución fueron esgrimidos criterios cuantitativos para evaluar, comparar y validación de los modelos desarrollados, como medida para comparar los datos

observados y predichos mediante los modelos propuestos por [30]. Los criterios para la evaluación de los modelos fueron de acuerdo a la ecuación 1 (Distorsión) y 2 (Precisión):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \tag{1}$$

El valor ideal de la dipersión es 0.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}} \tag{2}$$

El valor ideal de Cuadrado Medio del Error (RMSE) es 0. Donde:  $d_i = y_i$  = Datos observados;  $\hat{y}_i$  = Datos calculados (Predichos);  $n$  = Total de observaciones;  $p$  = Número de parámetros empleados en los modelos, Cuadrado Medio del Error.

### Resultados y Discusión

#### Ancho de corona

Los coeficientes de los parámetros, coeficiente de determinación, distorsión y el cuadrado medio del error (RMSE) son exhibidos en la Tabla 4.

El Laurel como otra especie de crecimiento rápido, crece mejor, cuando tiene amplio espacio para crecer y su corona se puede desplazar, especialmente en edades tempranas y cuando la mayor altura ha sido alcanzada [31]. De acuerdo a los valores de distorsión de 0.0375 m., y de precisión de 0.4776 m. (RMSE) observados para AC<sub>1</sub>, se acercaron más a los valores ideales de cero y se puede reconocer también que, al añadir variables como la altura y el largo de la corona, no lleva a un mejoramiento significativo de esta estimación de este parámetro. Tanto [32] como [33] señalaron que, una simple relación lineal entre diámetro y ancho de corona, es la mejor función para determinar este parámetro para especies de cuatro estaciones. No obstante, investigaciones realizadas por [34] quien, incluyó altura total y largo de corona, mejorando la estimación del ancho de corona en comparación con los modelos que incluyen únicamente al diámetro a la altura del pecho como variable independiente. Este hecho se ajustó para el Laurel, de ahí que, la relación lineal  $Ancho\ de\ Corona = 0.33 + 0.12 * DAP$  es la mejor opción para establecer el ancho de la corona para Laurel dentro de sistemas agroforestales.

#### Base de corona

En cuanto a los modelos que permiten estimar la longitud de la copa, la mayoría se pueden englobar en dos grandes grupos: En el primero se incluyen todos los modelos que permiten estimar la altura a la que comienza la copa [7] y este fue el método empleado en esta investigación. El segundo grupo incluye los modelos que estiman el ratio de copa, es decir, el cociente entre la

Ecuación	Coeficientes				r <sup>2</sup>	Distorsión (m)	RMSE (m)
	a	b	c	d			
AC <sub>1</sub>	0.3327	0.1215			0.6685	0.0375	0.4776
AC <sub>2</sub>	0.2700	0.1149	0.0125		0.6686	0.0386	0.5667
AC <sub>3</sub>	0.2719	0.1197	-0.0189	0.0707	0.6766	0.0387	0.6797
AC <sub>4</sub>	0.1917	0.8914			0.6685	0.0392	0.6047
AC <sub>5</sub>	0.1819	0.8425	0.0720		0.6686	0.0395	0.6418
AC <sub>6</sub>	0.2072	0.8660	-0.0844	0.1360	0.6782	0.0485	0.5087
AC <sub>7</sub>	-1.2476	0.7592			0.5994	0.0555	0.8106

Tabla 4: Valores calculados, coeficiente de determinación y el cuadrado medio del error (RMSE) para los diversos modelos de ancho de corona, Bosque Protector Sumaco, provincia de Napo.

altura de la copa y la altura total del árbol. A este grupo pertenecen, entre otros, los modelos de Hassenuer [35] o Sterba [36]. El modelo de copa desarrollado por Sterba [37] para píceas tiene la siguiente expresión:

$$CR = \frac{1}{1 + \exp \left( a_0 + \sum_i a_i \cdot Est_i + \sum_j b_j \cdot Dim_j + \sum_k c_k \cdot Com_k \right)} \tag{3}$$

Donde CR es el ratio de copa, Est<sub>i</sub> es un vector de variables de la estación, Dim<sub>j</sub> es un vector de las dimensiones del árbol (diámetro, relación h/d y altura del árbol) y Com<sub>k</sub> es un vector que define la competencia con índices como el denominado Crown Competition Factor de Ktajicek [38].

En la Tabla 5, se presenta los coeficientes calculados para este parámetro, el coeficiente de determinación, distorsión y el cuadrado medio del error. De los diferentes modelos probados para el Laurel, se puede destacar el desarrollado por [25], que es el que mayor r (0.8453) presentó, los valores de distorsión del mencionado modelo se acercan a los valores ideales de 0 (0.0083) y el cuadrado medio del error fue de 1.49 metros.

En la Figura 5, se presenta el análisis de residuos, los valores observados frente a los valores predichos por el modelo [25], en ningún caso se observó una distorsión significativa estadística de los residuos. Este modelo puede ser empleado para predecir la base de la corona del Laurel bajo un manejo agroforestal en el Bosque Protector Sumaco.

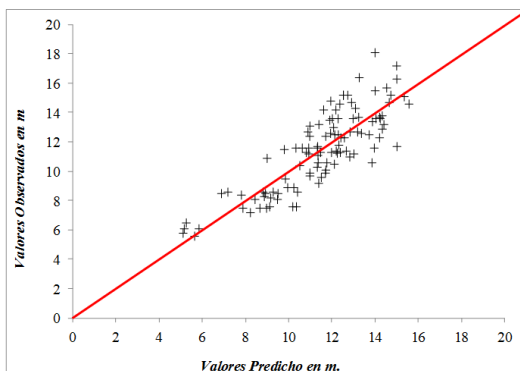


Figura 5: Valores observados vs valores predichos para el modelo de Ďurský (2000). Así como la dispersión de residuos del mencionado modelo, Bosque Protector Sumaco, provincia de Napo.

$$LC = H * e^{(-a*g+b*(H/DAP)+c*log(G/H)+d*log(DAP))} \tag{4}$$

Donde LC = Largo de la corona; H = Altura total en m; G = Área basal en cm<sup>2</sup>; H/DAP = Relación altura diámetro; DAP = Diámetro a la altura del pecho en cm y a, b, c, d = Parámetros empíricos del modelo.

Los valores para el parámetro a = 1.630759; b = 0.421923; c = 0.063353 y d = -0.218853, se obtuvo un coeficiente de determinación r de 0,71. Esto significa que el 71 % de la variación observada en el Laurel para este parámetro puede ser explicada mediante el modelo propuesto. La distribución normal esperada de los residuos son presentados en la Figura 6. La determinación de este parámetro permitirá determinar los niveles de competencia de un rodal agroforestal por un largo tiempo [39]. Permite también establecer la vitalidad del componente arbóreo de los sistemas agroforestales [40] y da información sobre la potencial reacción de una intensidad de raleo [41].

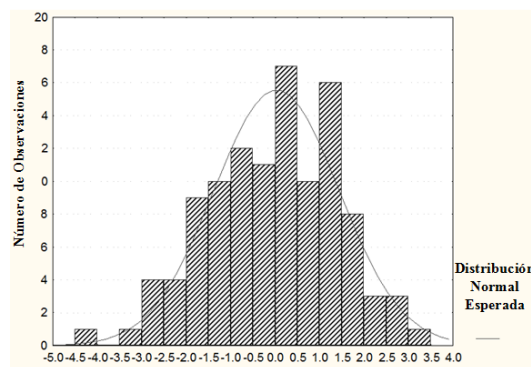


Figura 6: Distribución de los residuos en confrontación con el número de observaciones realizadas y la distribución normal esperada para el modelo de largo de corona, Bosque Protector Sumaco, provincia de Napo.

### Proyección de corona

Los sistemas agro-silvopastoriles interactúan entre los diferentes componentes en términos de la ocupación de espacio (estratificación vertical y horizontal, sobre y debajo de la tierra) y asignación de recursos (luz, agua, nutrientes) [42]. Dos diferentes interacciones podrían ser definidas:



Ecuación	Coeficientes			r <sup>2</sup>	Distorsión (m)	RMSE (m)
	a	b	c			
Ka-Silva	-0.4472	0.4169	-0.3878	0.8374	0.0384	1.5022
Ka-Forest	1.1739	-0.2040		0.8378	0.0478	1.4967
Ka-Forest modificado	1.5751	-0.6081	-0.0030	0.8382	0.0429	1.4984
Ka-Đurský (2000)	-0.3370	9.4999	11.5614	0.8453	0.0083	1.4951
Ka- Nagel (1999)	1.1732	-0.2020		0.8433	0.0106	1.4993
Ka- Monserud (1975)	-0.8014	-1.3189		0.8149	-0.0199	1.6023

Tabla 5: Valores calculados, coeficiente de determinación, distorsión y el cuadrado medio del error (RMSE) para los diversos modelos de ancho de corona, Bosque Protector Sumaco, provincia de Napo.

- Interacción Directa: componentes abióticos con otro componente biótico (árbol con otros cultivos)
- Interacción Indirecta: un componente biótico modifica a un componente abiótico usado por otro componente biótico (reducción de la luz resultante de la sombra de un árbol).

Este parámetro de proyección de corona podría ser empleado para el desarrollo de modelos que involucren una serie de componentes para comprobar la productividad de los sistemas agro-silvopastoriles. Los modelos desarrollados dentro de esta investigación pueden ser empleado para establecer y calcular otro tipo de atributos como por ejemplo la proyección en superficie de la corona al suelo (Ecuación 5). Esta proyección en unidad de área (PC) se deduce del largo de la corona (LC= RC\*H) y donde el radio de la corona se obtiene del ancho de la corona (RC= LC/2) de acuerdo al modelo desarrollado por [43].

$$PC = \frac{\pi * RC}{6 * LC^2} \left[ (4 * LC^2 + RC^2)^{\frac{3}{2}} - RC^3 \right] \quad (5)$$

Donde PC = Área de proyección de la corona (m<sup>2</sup>); RC = Radio de la corona (m); LC = Largo de la corona (m) y  $\pi = 3.1416$ .

### Conclusiones

Los resultados de esta investigación sobre la descripción de corona del laurel, demuestran una cierta variación de acuerdo a la edad de los sistemas agroforestales investigados. Para la descripción de los atributos de la corona se utilizaron las siguientes funciones:  $y = \frac{1}{1+e^x}$ ,  $y = e^{-\sqrt{x}}$ ,  $y = e^{-x}$ .

El crecimiento del árbol entre otros parámetros forestales como la base y ancho de corona pueden ser determinados mediante funciones matemáticas. Estos parámetros pueden también ser deducidos para describir este componente forestal de los sistemas agroforestales, cuando se dispone de parámetros que normalmente son tomados para la caracterización de masas forestales. Esto es el diámetro a la altura del pecho y estimación de altura, que normalmente son estimados para modelos de crecimiento. Estas valoraciones pueden complementarse a través de la introducción de un modelo de la corona.

Es necesario realizar nuevas investigaciones para determinar la influencia de las diferentes edades de los árboles, densidades, alturas y grados de competencia entre coronas dentro de sistemas agroforestales para determinar la estabilidad y vulnerabilidad de estos sistemas ante la presencia de vientos alisos huracanados en la Región Amazónica Ecuatoriana.

### Referencias

- [1] Ministerio del Ambiente del Ecuador, M. 2005. "Evaluación y actualización de las estrategias de desarrollo forestal sustentable del Ecuador, estrategia para el desarrollo forestal sustentable del Ecuador (2005)". Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). Quito, Ecuador.
- [2] MAGAP 2008. "Plan de reactivación agropecuario 2007-2011". Ministerio de Agricultura, Acuicultura y Pesca del Ecuador: Quito, Ecuador.
- [3] Cañadas, A. 2005. "Providing information about natural resources as a base to support the decentralization of the forest sector in canton Loreto". Research Centre of Forest Ecology, University Göttingen: Niedersachsen, Alemania.
- [4] Cañadas, A.; Arce, L.; Molina, C. 2010. "Growth, yield and performance of teak in silvopastoral system in the lowland western region, ecuador". World Food System A Contribution from Europe: Tropentag. Zurich.
- [5] Cañadas, A.; Roca, A. 2011. "Can the reforestation projects stop the extraction of wood from the protected forest chongón-colonche?". Tropentag, Bonn University Development on the Margin.
- [6] Van Laar, A.; Akca, A. 1997. "Forest mesuration". Cuvillier Verlag: Göttingen, Deutschland.
- [7] Gadow, K.; Hui, G. 1999. "Modeling forest development". Kluwer Academic Publisher.
- [8] Gadow, K. 2004. "Forsteinrichtung. steuerung und analyse der waldentwicklung". Beilage zur Vorlesung, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Universität Göttingen. Göttingen, Deutschland.
- [9] Hasenauer, H. 1994. "Ein einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige fichten-kiefern- und buchen- fichtenbestände". Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien.
- [10] Raven, P.; Evert, R.; and Eichhorn, S. 1987. "Biology of plants". Worth Publishers Inc.: New York, NY.
- [11] Mitscherlich, G. 1970. "Wald, wachstum und umwelt". Form und Wachstum von Baum und Bestand.

- [12] Leuschner, C. 2002. "Lebensraum baumkrone Ü schatzkiste der biodiversität". Georgia August, Wissenschaftsmagazin der Geor-August-Universität. Göttingen, Deutschland.
- [13] Korol, M.; Gadow, K. 2002. "Zur quantitativen beschreibung von fichtenkronen im gebiet der ukrainischen karpaten". Unveröff, Manuskript, Inst. f. Waldinventur u. Waldwachstum, Univ. Göttingen, Deutschland.
- [14] Korol, M.; Gadow, K. 2003. "Ein einheitsschaftmodell für die baumart fichte". *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 122(3): 175-182.
- [15] Kramer, H. 1988. "Waldwachstumslehre". Verlag Paul Parey. 800.
- [16] Gadow, K. 2003. Waldstruktur und Wachstum: Beilage zur Vorlesung im Wintersemester 2003/2004. Universitätsverlag Göttingen: Göttingen, Alemania.
- [17] Badoux, E. 1939. "De l'influence de divers modes et degres d'eclaircie dans les hetraies pines. mittschweiz". *AFV*. 21(1): 59-146.
- [18] Ung, C. 1993. "Growth and branchiness of picea mariana (mill.) bsp". *Canadian Forest Service Modelling Working Group*. 200.
- [19] Proyecto Gran Sumaco 1998. "Distribución de lluvias en la estación de chaluá yacu". *PGS/INEFAN/GTZ*. 10.
- [20] Bendix, J.; Lauer, W. 1992. "Die niederschlagsjahreszeiten in ecuador und ihre klimadynamische interpretation". *Erkunde*. 118-134.
- [21] Cañadas, L. 1979. "Identificación de sistemas ecológicos en la región amazónica ecuatoriana". Seminario sobre Manejo de Sistemas Ecológicos y Alternativas de Producción Agro-Silvo-Pastoril, Limoncocha. 16.
- [22] Cañadas, L. 1983. "Mapa bio climático y ecológico del ecuador". Editores Asociados Cia. Ltd.: Quito, Ecuador.
- [23] Pretzch, H.; Kahn, M. 1998. "Forschungsvorhaben konzeption und konstruktion von wuchs und prognosemodellen für mischbeständen in bayer". *Methodische Grundlagen*. 279.
- [24] Ek, A. 1974. "Dimensional relationships offorest and open-grown stems in wisconsin". Uni. of Wisconsin, Forestry Tes. 7.
- [25] Ďurský, J. 2000. "Einsatz von waldwachstumssimulatoren für bestand, betrieb und grobregion". Dissertation. 223.
- [26] Nagel, J. 1999. "Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen aufbau eines waldwachstumskundlichen simulationssystems für nordwestdeutschland". Franfurt am Main. 122.
- [27] Monserud, R. 1975. "Methodology for simulating wisconsin northern hardwood stand dynamics". Ph.D. Thesis. Univ. of Wisconsin. 156.
- [28] Statistica 2004. "User's Guide". STATISTICA Version 5.0.
- [29] Bortz, J. 2005. "Statistik für sozialwissenschaftler". Springer-Verlag.
- [30] Sterba, H.; Korol, M.; Rössler, G. 2001. "Ein ansatz zur evaluierung eines einzelbaumwachstumssimulators für fichtenreinbestände". *Forstwissenschaftliches Centralblatt*. 406-421.
- [31] Somarriba, E.; Valdiviezo, R.; Vásquez, W.; Galloway, G. 2001. "Survival, growth, timber productivity and agro forestry systems". *Agroforestry Systems*. 111-118.
- [32] Zeide, B. 1983. "The mean diameter for stand density index". *Can. J. For. Res.* 1023-1024.
- [33] Nagel, J. 1997. "Bwin - program for standard analysis and prognosis". User's manual for version 3.0, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen, Deutschland.
- [34] Moere, M. 1981. "Crown width and foliage weight of northern rocky mountain conifers". *USDA For. Serv. Res.* 283.
- [35] Hassenauer, H.; Monserund, A. 1996. "A crown ratio model for austrian forest". *Forest Ecology and Management*. 49-60.
- [36] Sterba, H. 1987. "Estimating potential density from thinning experiments and inventory data". *Forest Science*. 1022-1034.
- [37] Sterba, H. 1995. "Prognaus - ein abstandsunabhängiger wachstumssimulator für gleichaltrige mischbestände". *Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten-sektion Ertragskunde*. 173-183.
- [38] Krajicek, J.; Brinkman, K.; and Gingrich, S. 1961. "Crown competition. A measure of density". *For. Sci.* 35-42.
- [39] Mitscherlich, G. 1978. "Wald, wachstum und umwelt". *Frankfurt am Main, Ed. Sauerländer*.
- [40] Valentine, H.; Ludlow, A.; Furnival, G. 1994. "Modeling crown rise in even-aged stand of sitka spruce and loblolly pin". *For. Ecolog. Manag.* 189-197.
- [41] Dyer, E.; Burkhart, E. 1987. "Compatible crown ratio and height models". *Can. J. For. Res.* 572-574.
- [42] Anderson, L.; Sinclair, F. 1993. "Ecological interactions in agroforestry systems". *Agrofor. Abs.* 57-91.
- [43] Kramer, H.; Akca, A. 1982. "Leitfaden für dendrometrie und bestandesinventur". *J.D. Sauerländer's Verlag*. 150.

## Efectos de la deforestación y la fragmentación sobre la fauna de mamíferos terrestres y primates en los bosques de varzea de la Amazonía norte del Ecuador

Stella de la Torre<sup>1,2\*</sup>, Pablo Yépez<sup>2</sup>, Hernán Payaguaje<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales  
Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador

<sup>2</sup> Fundación VIHOMA

\* Autor principal/Corresponding author, e-mail: [sdelatorre@usfq.edu.ec](mailto:sdelatorre@usfq.edu.ec)

Editado por/Edited by: D. F. Cisneros-Heredia, Ph.D.(c)

Recibido/Received: 04/16/2012. Aceptado/Accepted: 11/21/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

From April 2008 through May 2009, we carried out two complementary studies to evaluate the effects of deforestation and fragmentation on the diversity of terrestrial mammals and on the behavior of the primate *Callithrix pygmaea* (pygmy marmoset) in varzea forests in the land of the Secoya nationality, along the Shushufindi and Aguatico Rivers. To record terrestrial mammals we located four camera traps in the varzea forest of the Ethnobotanical Garden Sehuayeja, in an area affected by deforestation, fragmentation and hunting, and other four camera traps in the better-conserved varzea forest of Sicoya. Camera traps were located in animal trails or in feeding areas (fruiting trees). To record the behavior of three groups of pygmy marmosets we used scan samples along the day to gather data on group size, home range size and use of habitat and of exudate sources. Our results suggest that the communities of terrestrial mammals are being affected by deforestation and fragmentation. We recorded 16 mammal species in the Sicoya varzea and 12 species in the Sehuayeja varzea. The number of species recorded per active camera in the Sicoya varzea almost doubled that recorded in the Sehuayeja varzea (2.63 species/camera  $\pm$  1.87 vs. 1.34 species/camera  $\pm$  0.93). Four carnivore species (mainly felids) and the tapir were not recorded in the Sehuayeja varzea but in the Sicoya varzea. Deforestation and fragmentation of varzea forests also affected the use of habitat and the feeding behavior of pygmy marmosets. Mean home range size was almost three times larger than that reported in previous years in the same population. Additionally, groups exhibited a "nomad" behavior, not previously reported, characterized by the intermittent use of small core areas and large periods of continuous movement among core areas. We also reported the use of a new exudates species (*Cedrela odorata*) in this population. Our results suggest that the responses of mammal populations to deforestation and fragmentation are complex and need to be studied in more depth.

**Keywords.** terrestrial mammals, *Callithrix pygmaea*, Ecuadorian Amazon, varzea forests, camera traps, home range, deforestation, fragmentation

### Resumen

Entre abril 2008 y mayo 2009, realizamos dos estudios complementarios para evaluar los efectos de la deforestación y fragmentación de los bosques sobre la diversidad de mamíferos terrestres y el comportamiento del primate *Callithrix pygmaea* (leoncillo) en tierras de la nacionalidad Secoya en los ríos Shushufindi y Aguatico. Para el registro de mamíferos terrestres colocamos cuatro cámaras trampa en el bosque de varzea del Jardín Etnobotánico Sehuayeja, en un área afectada por deforestación, fragmentación y cacería, y otras cuatro en el mejor conservado bosque de varzea de Sicoya. Las cámaras se colocaron en lugares de paso de animales o cerca de comederos (i.e., árboles en fructificación). Para el estudio de comportamiento de tres grupos de leoncillos usamos muestreos de barrido distribuidos a lo largo de todo el día para obtener datos sobre el tamaño de los grupos, las áreas de vida y las fuentes de exudados utilizadas. Nuestros resultados sugieren que las comunidades de mamíferos terrestres están siendo afectadas por la deforestación y fragmentación de los hábitats. Registramos 16 especies en la varzea Sicoya y 12 especies en la varzea Sehuayeja. El número de especies registradas por cámara activa fue cerca del doble en la varzea Sicoya que en la varzea Sehuayeja (2.63 especies/cámara  $\pm$  1.87 vs. 1.34 especies/cámara  $\pm$  0.93). Cuatro especies de carnívoros (especialmente felinos) y el tapir no registraron en la varzea Sehuayeja pero sí en la varzea Sicoya. La deforestación y fragmentación de los bosques de varzea también parecen haber afectado al uso del hábitat y al comportamiento de alimentación de los leoncillos. El tamaño promedio de las áreas de vida fue casi 3 veces más grande que el reportado en años anteriores en la misma población. Los grupos de leoncillos exhibieron un comportamiento "nómada", no reportado anteriormente, caracterizado por el uso, durante un corto tiempo, de pequeñas áreas núcleo y por un continuo movimiento entre ellas. Reportamos también el uso de una nueva fuente de exudado (*Cedrela odorata*) en esta población. Nuestros resultados sugieren que las respuestas de las poblaciones, tanto de mamíferos terrestres como de primates, a la deforestación y fragmentación son complejas y deben ser estudiadas con más profundidad.

**Palabras Clave.** mamíferos terrestres, *Callithrix pygmaea*, Amazonía ecuatoriana, bosques de varzea, trampas cámara, área de vida, deforestación, fragmentación



## Introducción

La Amazonía norte del Ecuador es una de las zonas con más diversidad biológica en el mundo y también una de las más afectadas por las actividades humanas [1, 2]. Ecuador tiene una de las tasas de deforestación más altas de Sudamérica y, dentro del país, esta actividad se concentra en la Amazonía norte [2, 3].

La pérdida y fragmentación de los bosques por deforestación es uno de los fenómenos ecológicos más importantes de los últimos tiempos y una de las amenazas más importantes para la conservación de la biodiversidad [4, 5, 6]. Sin embargo, su impacto sobre las comunidades de mamíferos terrestres y de primates en la Amazonía norte del Ecuador no ha sido suficientemente estudiado. Este vacío de información dificulta considerablemente la implementación de estrategias efectivas de manejo y conservación para estos grupos de animales de gran importancia ecológica y social [7, 8, 9, 10].

En nuestro estudio buscamos aportar a este campo del conocimiento usando dos líneas de investigación complementarias. En la primera realizamos una comparación de los registros no invasivos de mamíferos terrestres con cámaras trampa en dos bosques de varzea (bosques de tierras bajas inundados por aguas blancas), que diferían en sus niveles de deforestación, fragmentación y cacería, localizados en tierras de la nacionalidad Secoya en los ríos Aguarico y Shushufindi. En la segunda, monitoreamos los cambios en las áreas de vida y comportamiento de grupos de leoncillos, *Callithrix pygmaea*, en un área, también en tierras Secoya, que ha sido gradualmente degradada en la última década.

## Áreas de estudio

Los bosques de varzea en los cuales se realizaron los censos de mamíferos terrestres con cámaras trampa se ubicaron a orillas del río Shushufindi, en el Jardín Etnobotánico Sehuayeja ( $0^{\circ}17'20''S$ ,  $76^{\circ}27'2''O$ ) y en la orilla norte del río Aguarico en la comunidad de Secoya Remolino ( $0^{\circ}17'5''S$ ,  $76^{\circ}16'14''O$ ), provincia de Sucumbíos. Las varzeas del río Shushufindi están más afectadas por deforestación, fragmentación y cacería al encontrarse más cerca de centros poblados, como la ciudad de Shushufindi, y estar rodeadas por cerca de 30000 ha de palma africana. Las 100 ha del Jardín Etnobotánico, donde se colocaron las trampas cámara, están bien conservadas. La varzea del río Aguarico es parte de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno y tiene un área mucho más grande (>2800 ha), continua y menos afectada por la deforestación. Las dos varzeas se inundan periódicamente por crecidas de los ríos Shushufindi y Aguarico, respectivamente. Las cámaras trampa fueron ubicadas en lugares relativamente altos, para protegerlas de la inundación. Sin embargo, éstas debieron ser reubicadas en algunas ocasiones cuando los niveles de agua ponían en peligro su funcionamiento.

Los grupos de leoncillos estudiados pertenecen a la población de San Pablo, a orillas del río Aguarico ( $0^{\circ}16'49''S$ ,  $76^{\circ}25'25''O$ ), provincia de Sucumbíos. De las 9 poblaciones de leoncillos que hemos estudiado desde 1996 [11], la población de San Pablo es la más afectada por la destrucción y fragmentación de los bosques. Cuando comenzamos nuestro estudio de esta población, en el año 2001, el área combinada de parches de bosque de varzea que incluía las áreas de vida de 4 grupos era de 3.3 ha, el área promedio de cada parche en esa época era de  $1.1 \text{ ha} \pm 0.4$ . En el 2005, el área total de parches de bosque se redujo en un 85 % a solo 0.5 ha, con un área promedio por parche de  $0.17 \text{ ha} \pm 0.1$ , mientras se incrementaron las áreas dedicadas a cultivos de banano, maíz, yuca y pasto. Para el 2009, el área de bosque disminuyó más todavía, a  $0.11 \text{ ha} \pm 0.1$ . Sin embargo, a pesar de esta alta tasa de deforestación y fragmentación, el área de esta población es un refugio para los leoncillos porque las familias Secoya que viven en ella han evitado cortar la mayoría de los árboles de exudados de los grupos y no capturan ni cazan leoncillos. El comportamiento de estas familias hacia los leoncillos es diferente al de otras familias en la región y está influido por el programa de educación ambiental que desarrollamos desde el 2002 [12, 13].

## Métodos

### Diversidad de mamíferos terrestres

Para el registro de mamíferos terrestres colocamos cuatro cámaras trampa (Stealth Cam MC2-GV, cámaras de rollo con sensores infrarrojos y de movimiento) en el bosque de varzea del Jardín Etnobotánico Sehuayeja, y otras cuatro en el bosque de varzea de Secoya desde abril 2008 a abril 2009. Las cámaras se colocaron en lugares de paso de animales o cerca de comederos (árboles en fructificación), y se reubicaron al analizar las curvas de acumulación de especies en cada una de ellas y/o dependiendo del grado de inundación de las varzeas. Las cámaras fueron revisadas periódicamente y los rollos retirados cada 15 días.

Una vez reveladas, las fotografías fueron digitalizadas e identificadas con la ayuda de guías de campo especializadas [14, 15]. Con estos resultados determinamos la riqueza de especies de mamíferos en las dos áreas de estudio. Debido a que, por exceso de humedad, ocasionalmente algunos de los rollos se rompieron o se velaron al ser retirados y no pudieron ser revelados, para comparar la diversidad de mamíferos utilizamos el promedio de especies registradas por cámara activa para realizar una prueba de *t* no pareada (StatView SE). Adicionalmente calculamos el coeficiente de comunidad de Sorensen [16] para evaluar el grado de similitud taxonómica entre las dos comunidades.

### Área de vida y comportamiento de leoncillos

Desde mayo 2008 a mayo 2009 observamos a tres grupos de leoncillos de la población de San Pablo por un

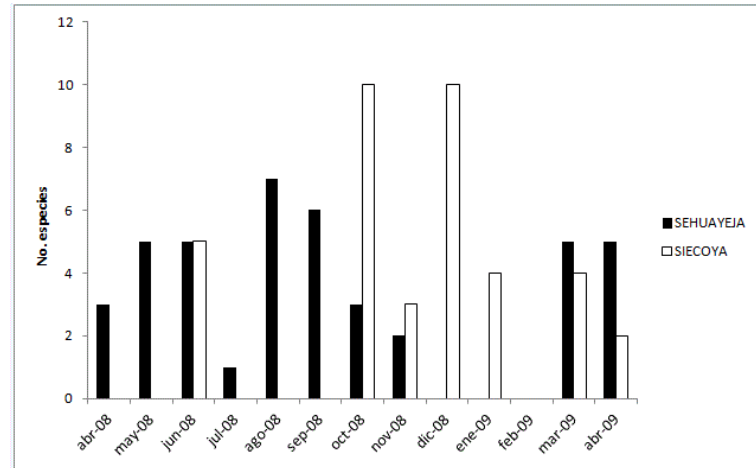


Figura 1: Número total de especies de mamíferos terrestres registradas por mes en las varzeas Sehuayeja y Siecoya (abril 2008 – abril 2009)

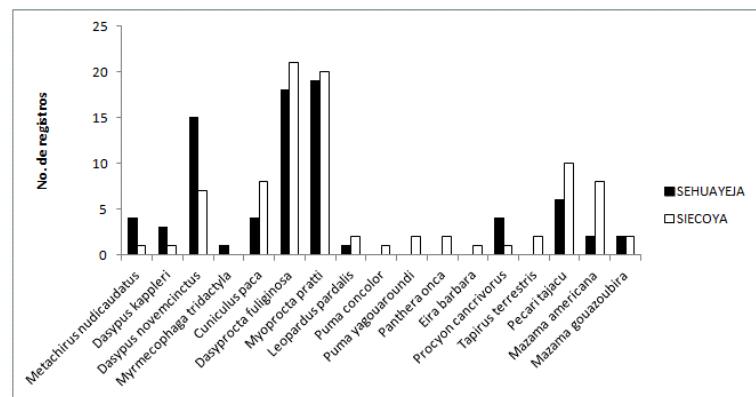


Figura 2: Abundancia relativa (total de registros) de las especies de mamíferos terrestres en las varzeas Sehuayeja y Siecoya (abril 2008 – abril 2009)

total de 240 horas de observación directa. El tamaño y composición de los grupos fue determinado por observaciones y conteos de los miembros de cada grupo temprano en la mañana y al caer la tarde. Usamos muestreos de barrido cada hora a lo largo del día para recopilar información sobre el uso de hábitat y la alimentación de cada uno de los grupos.

Las áreas de vida fueron estimadas al conectar los puntos extremos de ubicación de los individuos de un grupo durante ese año; la periferia que incluyó a todos los puntos de ubicación fue considerada como el límite del área de vida de cada grupo y nos permitió calcular la superficie dentro de la misma [17].

## Resultados

### Diversidad de mamíferos terrestres

Tuvimos un total de 93 y 97 registros fotográficos identificables en las varzeas de Sehuayeja y Siecoya, respectivamente; de estos, 93 % y 92 % correspondieron a mamíferos terrestres, los restantes fueron registros de aves. Los meses con mayor número de registros de mamíferos fueron agosto y septiembre de 2008 en la varzea Sehuayeja y octubre y diciembre del mismo año en la varzea Siecoya (Figura 1).

En la varzea Sehuayeja registramos un total de 12 especies de mamíferos pertenecientes a 9 familias. Las especies con mayor número de registros a lo largo de todo el año fueron el guatín *Myoprocta pratti*, la guatusa *Dasyprocta fuliginosa* y el armadillo de nueve bandas *Dasyurus novemcinctus* (Figura 2). Estas mismas especies fueron las que se registraron en un mayor número de meses (9 meses para la guatusa, 8 meses el armadillo de nueve bandas y 7 meses el guatín; Figura 3). La moda del número de meses en las que se registró una especie en esta varzea fue de dos.

En la varzea de Siecoya registramos un total de 16 especies de mamíferos pertenecientes a 9 familias. Las especies con mayor número de registros a lo largo de todo el año fueron la guatusa y el guatín, seguidos por el pecarí de collar *Pecari tajacu*. Las especies que se registraron en un mayor número de meses fueron el guatín (6 meses), el pecarí de collar (5 meses) y la guanta *Cuniculus paca* (4 meses). La moda del número de meses en las que se registró una especie en esta varzea fue de uno.

El promedio de especies por cámara activa durante todo el periodo de estudio fue de  $1.34 \pm 0.93$  en Sehuayeja, mientras que en Siecoya el promedio fue de  $2.63 \pm 1.87$ . Esta diferencia, de cerca del 100 % entre las dos comunidades, fue casi significativa ( $t_{20} = -2.05$ ,  $p$

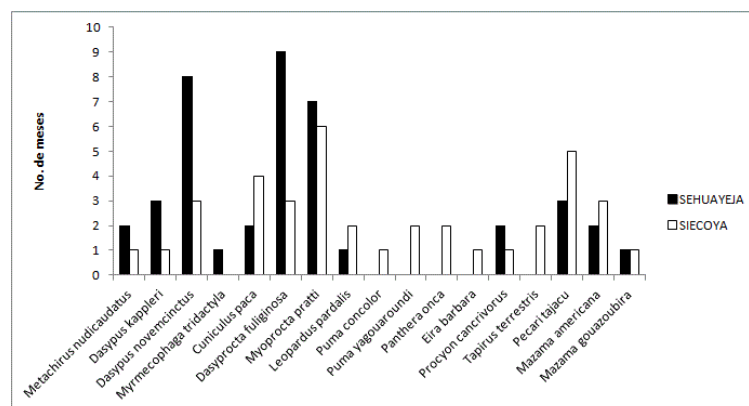


Figura 3: Variación mensual (total de meses con registros) de las especies de mamíferos terrestres en las varzeas Sehuayeja y Siecoya (abril 2008 – abril 2009)

= 0.055)(Figura 4). Las dos comunidades compartieron un total de 11 especies por lo que el coeficiente de comunidad fue alto (CC = 0.78). La especie que solo fue registrada en la varzea Sehuayeja fue el oso hormiguero gigante *Myrmecophaga tridactyla*. Las especies de la varzea Siecoya que no fueron registradas en la varzea Sehuayeja incluyeron todas las especies de félidos (con la excepción del tigrillo *Leopardus pardalis*): puma *Puma concolor*, yaguarundi *Puma yagouaroundi*, y jaguar *Panthera onca*, la única especie de mustélido: el cabeza de mate *Eira barbara*, y el tapir *Tapirus terrestris*.

#### Áreas de vida y comportamiento de leoncillos

El número promedio de individuos por grupo durante el periodo de estudio fue de 5.2 ( $\pm 1.04$ ). El grupo con menos individuos fue el grupo P1, con 3; el grupo más grande fue el grupo P4 con 7 (Tabla ). El tamaño promedio de las áreas de vida de los 3 grupos durante el periodo de estudio fue de 0.96 ha  $\pm 1.6$ . Las estimaciones del tamaño de las áreas de vida se vieron complicadas porque los grupos ocuparon pequeñas áreas núcleo (tamaño promedio 0.075 ha  $\pm 0.08$ ) de manera intermitente, por cortos periodos que variaron entre 2 semanas y 2 meses, interrumpidos por periodos relativamente largos, de hasta 6 semanas, durante los cuales las observaciones fueron esporádicas y se limitaron a escasos individuos que viajaban rápidamente a través de áreas cultivadas (Tabla 1).

Las áreas núcleo eran remanentes de bosque que incluían árboles de exudados usados por los grupos en los últimos 10 años pero también árboles de una nueva especie de exudado, el cedro, *Cedrela odorata*, que empezó a ser consumida por un grupo de leoncillos en esta población en el año 2008 (Tabla 1).

#### Discusión

Nuestros resultados sugieren que las comunidades de mamíferos terrestres están siendo afectadas por la deforestación y fragmentación de los hábitats. Existen tres líneas de evidencia que soportan esta afirmación: a) durante todo el periodo de estudio, el número de especies registradas por cámara activa fue casi el doble en

la varzea Siecoya, con menor afectación, que en la varzea Sehuayeja; b) el mayor número total de especies de mamíferos registradas en la varzea Siecoya (16) que en la varzea Sehuayeja (12), y c) la ausencia de registros de cuatro especies de carnívoros (especialmente félidos) y de tapir en la varzea Sehuayeja.

La ausencia de estas especies en la varzea más degradada de Sehuayeja, en el río Shushufindi, podría ser explicada por una combinación sinérgica entre la pérdida y fragmentación de los bosques y la cacería. Los fragmentos de bosque suelen ser más accesibles para los cazadores, mientras que la recuperación de las poblaciones cazadas es más difícil pues la fragmentación dificulta la dispersión de individuos entre poblaciones [10]. Tanto los pumas, como los jaguares y tapires requieren extensas áreas de bosque que varían entre las 1000 y 60000 ha [18, 19, 20], difíciles de encontrar en las áreas alrededor del río Shushufindi. Los efectos de esta restricción del área de bosque y de su continuidad se sumarían a los de la cacería para alimentación, en el caso del tapir, o como resultado del conflicto hombre-depredadores/carnívoros [21], en el caso de las grandes especies de carnívoros. Sin embargo, estos efectos debieron darse en el pasado pues en los últimos años no hay reportes de cacería de ninguna de estas especies en esa área [8]. El impacto actual de la cacería parece evidenciarse en el hecho de que las dos especies más abundantes en las dos áreas son especies medianas de roedores: el guatín *M. pratti* y la guatusa *D. fuliginosa*, mientras que especies más apetecidas, como la guanta *C. paca*, fueron menos numerosas en la varzea más afectada de Sehuayeja.

Por otro lado, el incremento en la fragmentación de los bosques de varzea en la población de San Pablo, no parece haber afectado al tamaño de los grupos de leoncillos, pues tanto el rango, como el promedio de individuos por grupo fueron similares a los reportados en esa misma población en años anteriores [11]. Sin embargo, nuestros resultados sugieren que la fragmentación y la pérdida de bosque afectaron considerablemente tanto al tamaño, como al patrón de uso de las áreas de vida. El tamaño promedio de las áreas de vida de estos grupos entre el 2001 y el 2003 fue de 0.33 ha  $\pm 0.12$  [17], mien-

GRUPO	# ind grupo ( $\pm$ d.e.)	Área de vida ( $m^2$ )	Área núcleo (ha)	Especies de exudados (# de individuos)
P1	4 $\pm$ 1,40	1,18	0,02	<i>Inga marginata</i> (1) <i>Inga ruiziana</i> (1)
P2	5,5 $\pm$ 0,71	1,02	0,04	<i>Sterculia apetala</i> (1) <i>Cedrela odorata</i> (1)
P4	6 $\pm$ 1,40	2,77	0,04	<i>Sterculia apetala</i> (1) <i>Spondias mombin</i> (1)

Tabla 1: Tamaño de grupo, área de vida, área núcleo y especies de exudados de los grupos de leoncillos en la población de San Pablo (mayo 2008 – mayo 2009)

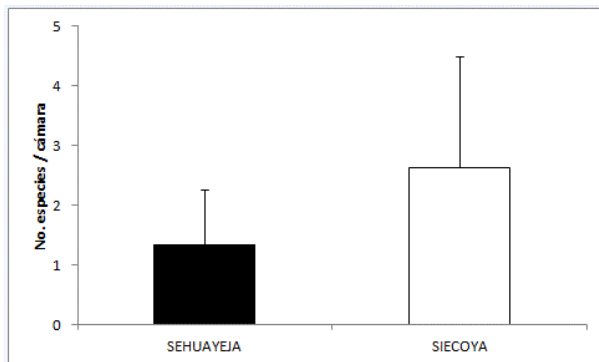


Figura 4: Diversidad de mamíferos terrestres (promedio de especies registradas por cámara activa) en las varzeas Sehuayeja y Secoya (abril 2008 – abril 2009)

tras que en el año de este estudio, fue casi tres veces mayor ( $0.96 \pm 1.6$ ). En estas áreas re-dimensionadas, los leoncillos hicieron un uso intermitente de pequeñas áreas núcleo de menos de una décima de hectárea, interrumpido por largos periodos de continuo movimiento entre áreas.

Este comportamiento “nómada” de los leoncillos en esta población no había sido observado previamente en ninguna de nuestras poblaciones de estudio [11, 17, 22, 23], y podría estar relacionado con una posible escasez de fuentes de exudados pues muchos de los árboles consumidos en el periodo de estudio fueron usados por los grupos en forma casi continua en los últimos 10 años. Aunque no medimos la producción de exudados de estos árboles, su largo tiempo de uso permite suponer que ésta podría reducirse temporalmente, forzando a los grupos a moverse a nuevas áreas en busca de alimento. Posiblemente por esta escasez de exudados, durante el año de estudio, los leoncillos de un grupo en esta población empezaron a consumir casi exclusivamente exudados de cedro, una especie que no había sido usada en años anteriores en esta población [17].

Tanto los resultados sobre las diferencias en la diversidad de mamíferos terrestres entre varzeas con diferente grado de afectación humana cuanto los cambios en el uso del hábitat y la alimentación de los leoncillos sugieren que las respuestas de las poblaciones a la fragmentación son complejas y deben ser estudiadas con

más profundidad. Es también necesario iniciar programas de restauración de las varzeas y otros bosques de galería en la Amazonía norte del Ecuador para promover la recuperación de la diversidad de mamíferos y de otros grupos de animales en áreas degradadas como las tierras Secoya alrededor del río Shushufindi. Al mismo tiempo, es necesario aplicar regulaciones más estrictas de cacería para no ejercer más presión sobre poblaciones reducidas. La implementación de todas estas estrategias requiere de una mayor conciencia ambiental de los pobladores locales, como los Secoya. El hecho de que en nuestra investigación participaran varios parabiólogos Secoya, tanto en la recopilación cuanto en el análisis de los datos, sumado al programa de educación ambiental que desarrollamos en estas comunidades desde el 2002, podría constituirse en una base sobre la cual esta nacionalidad desarrolle y aplique planes de manejo de fauna que aseguren la conservación de este importante patrimonio natural.

### Agradecimientos

Dejamos constancia de nuestro agradecimiento a todos los parabiólogos Secoya: Alfredo, Juana, Magali, Jenny, Margot, Jimmy, César, Gustavo, Néiser, Lidia, Nancy, Erico, Roberto, Ailmer, Maribel, Mireya, Manolo, Olivero, Basilio, José Euclides, Mariela, Nancy, Enight, Mercy, Leorvis, Lidia, René, Yamira, Sonia, Johanna, Urlin y Marco. Agradecemos también la ayuda de Javier Sarango en la elaboración de los mapas de la población de leoncillos de San Pablo y de Denisse Dalgo en la identificación de las especies y organización de las fotografías. La investigación sobre diversidad de mamíferos fue financiada por el EcoFondo/FAN, Fundación VIHOMA y WCS/USAID, con el permiso de investigación del Ministerio del Ambiente No. 005-IC-FAU-DRSO-MA-2008. La investigación sobre el comportamiento de los leoncillos fue financiada por el Programa de Small Grants de la Universidad San Francisco de Quito y fundación VIHOMA, con el permiso de investigación del Ministerio del Ambiente No. 014-IC-FAU-DRSO-MA20-08.

## Referencias

- [1] Myers, N. 1988. "Threatened biotas: 'hot-spots' in tropical forests." *The Environmentalist*. 8: 187–203.
- [2] Mena, C. F., Bilsborrow, R. E., and McClain, R. 2006. "Socioeconomic drivers of deforestation in the northern ecuadorian amazon." *Environmental Management*. 37: 802–815.
- [3] SENPLADES. 2007. *Plan Nacional de Desarrollo*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Quito, Ecuador.
- [4] Arroyo-Rodríguez, V. and Mandujano, S. 2009. "Conceptualization and measurement of habitat fragmentation from the primates' perspective." *International Journal of Primatology*. 30, 497–514.
- [5] Cowlishaw, G. 1999. "Predicting the pattern of decline of african primate diversity: an extinction debt from historical deforestation." *Conservation Biology*. 13, 1183–1193.
- [6] Marsh, L. K. 2003. *Primates in fragments: Ecology and conservation*, Kluwer Academic/Plenum.
- [7] de la Torre, S. 2000. *Primates de la Amazonía Ecuatoriana (Primates of Amazonian Ecuador)*, Proyecto PE-TRAMAZ/SIMBIOE, Quito.
- [8] de la Torre, S., Payaguaje, H., Payaguaje, P., and Payaguaje, A. 2007. "Investigación participativa y conservación de la fauna en tierras Secoya, en: "Caminando en el sendero, hacia la conservación del ambiente y la cultura Secoya." S. de la Torre and P. Yépez (Eds). Fundación VIHOMA, Quito. pp. 77-90.
- [9] de la Torre, S. and Payaguaje, H. 2009. Impacto humano sobre la diversidad de mamíferos en tierras secoya." *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 1, 1–4.
- [10] Peres, C. A. 2002. "Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on amazonian forest vertebrates." *Conservation Biology*. 15, 1490–1500.
- [11] de la Torre, S., Yépez, P. and Snowdon, C. 2009. "Ecology and conservation of pygmy marmosets in Amazonian Ecuador." En: "The Smallest Anthropoids: The Marmoset/Callimico Radiation." L. C. Davids, S. M. Ford, and L. Porter (Eds). Springer, New York. pp. 451-463
- [12] de la Torre, S. and Yépez, P. 2003. "Environmental education, a didactic tool for the conservation of pygmy marmosets *Cebuella pygmaea* in Ecuadorian Amazon." *Neotropical Primates*. 11, 73–75.
- [13] Yépez, P., de la Torre, S., Payaguaje, H., and Payaguaje, A. 2010. *¿Al final del sendero? Aportes a la conservación del ambiente y la cultura Secoya*, Fundación VIHOMA, Quito.
- [14] Emmons, L. H. and Feer, F. 1990. *Neotropical rainforest mammals, a field guide*, The University of Chicago Press, Chicago, 1st Edition.
- [15] Tirira, D. 2007. "Guía de campo de los mamíferos del Ecuador", Ediciones Murciélago Blanco. Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador 6, Quito.
- [16] Smith, R. L. and Smith, T. M. 2012. *Elements of Ecology*, Adison Wesley Longman, Inc.: San Francisco, 8th Edition.
- [17] Yépez, P., de la Torre, S., and Snowdon, C. T. 2005. "Interpopulation differences in exudate feeding of pygmy marmosets in ecuadorian amazonia." *American Journal of Primatology*. 66: 145–158.
- [18] Grigione, M. M., Beier, P., Hopkins, R. A., Neal, D., Padley, W. D., Schonewald, C. M., and Johnson, M. L. 2002. "Ecological and allometric determinants of home-range size for mountain lions (*Puma concolor*)." *Animal Conservation*. 5: 317–324.
- [19] Noss, A. J., Cuéllar, R. L., Barrientos, J., Maffei, L., Cuéllar, E., Arispe, R., Rómiz, D., and Rivero, K. 2003. "A camera trapping and radio telemetry study of lowland tapir (*Tapirus terrestris*) in bolivian dry forests." *Tapir Conservation*. 12: 24–32.
- [20] Rabinowitz, A. R. and Nottingham, B. G. 1986. "Ecology and behaviour of the jaguar (*panthera onca*) in belize, central america." *Journal of Zoology London*. 210: 149–159.
- [21] Treves, A. and Ullas, K. 2003. "Human-carnivore conflict and perspectives on carnivore management worldwide." *Conservation Biology*. 17: 1491–1499.
- [22] de la Torre, S., Snowdon, C. T., and Bejarano, M. 2000. "Effects of human activities on pygmy marmosets in ecuadorian amazon." *Biological Conservation*. 94: 153–163.
- [23] de la Torre, S. and Snowdon, C. T. 2009. "Dialects in pygmy marmosets? inter-population variation in call structure." *American Journal of Primatology*. 72: 333–342.

## Efecto de la temperatura, medios de cultivo y reguladores de crecimiento en la germinación de embriones cigóticos de durazno (*Prunus persica*) var. Diamante

Venancio Arahana<sup>1\*</sup>, Homero Arteaga<sup>1</sup>, Jose Tobar<sup>1</sup>, Viviana Jaramillo<sup>1</sup>, Maria de Lourdes Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Biotecnología Vegetal, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad San Francisco de Quito, Diego de Robles s/n y Vía Interocéánica, Quito, Ecuador.

\* Autor principal/Corresponding author, e-mail: varahana@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 12/10/2012 Aceptado/Accepted: 12/15/2012

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012 Impreso/Printed: 12/28/2012

### Abstract

In this research, the effects of temperature, culture media and growth regulators on mature peach embryos (var. Diamante) were evaluated. Temperature had a significant influence on germination, as embryos cultured at 4°C for 40 days and then moved to a temperature of 18°C had a germination rate of 84 %, compared to embryos cultured directly at 18°C, which had a germination rate of 50 %. Regarding the culture media, the highest germination rate was achieved using MS media with half the concentration of salts. Despite not having significant differences when adding growth regulators in the culture media, the addition of high concentrations of cytokinins (>1mg/L) and low concentrations of auxins (0.5mg/L) generated plants with a higher number of leaves. The best root development was obtained by the subculture of plants in MS media with 3mg/L of IBA for 16 days. The acclimatization of plants was successful, with a survival rate of 80 % in plants that germinated from embryos cultured at 4°C for 40 days. This standardized protocol was also tested in the germination of var. Diamante x var. Florida peach hybrids, with a germination rate of 61 %, proving to be a potentially efficient method for peach propagation in crop improvement programs.

**Keywords.** *Prunus persica*, zygotic embryos, stratification, growth regulators, *in vitro* germination

### Resumen

En esta investigación se evaluó los efectos de la temperatura, medios de cultivo y reguladores de crecimiento sobre la germinación de embriones maduros de durazno var. Diamante. La temperatura tuvo una influencia significativa sobre la germinación. Embriones cultivados a 4°C durante 40 días y luego trasladados a temperatura de 18°C tuvieron un porcentaje de germinación del 84 % en comparación con los cultivados directamente a 18°C cuyo porcentaje fue del 50 %. En cuanto al medio de cultivo, la tasa de germinación más elevada se obtuvo con el medio MS a la mitad de concentración de sales. Pese a que no se obtuvo diferencias significativas respecto a la adición de reguladores de crecimiento en el medio de cultivo, la adición de concentraciones altas de citoquininas (>1mg/L) y bajas de auxinas (0.5mg/L) dió lugar a plantas con mayor número de hojas pero con poca iniciación radicular. Para obtener un óptimo desarrollo de raíces se realizó un subcultivo de las plantas a medio MS con 3mg/L de IBA durante 16 días. La aclimatación de las plantas fue exitosa, el porcentaje de supervivencia alcanzó el 80 % en plantas provenientes de embriones cultivados a 4°C durante 40 días. Finalmente, el protocolo estandarizado pudo ser utilizado en la germinación de híbridos de durazno var. Diamante x var. Florida con un porcentaje de germinación del 61 %, mostrando ser un método eficiente para la propagación de durazno en programas de mejoramiento.

**Palabras Clave.** *Prunus persica*, embriones cigóticos, estratificación, reguladores de crecimiento, germinación *in vitro*

### Introducción

El durazno (*Prunus persica*) pertenece a la familia Rosaceae. Es un árbol caducifolio, de porte erecto que puede alcanzar hasta los 8 metros de altura. Presenta un tronco robusto y de madera fuerte. Las hojas son de color verde claro, alargadas, lanceoladas y aserradas. Las flores se encuentran en racimos, son pentámeras y, generalmente de color rosado, poseen varios estambres y son hermafroditas. El fruto es una drupa globosa con exocarpo liso o pubescente y mesocarpo carnoso y dul-

ce. La semilla es de color marrón y los cotiledones son blancos [1].

El durazno es originario del oeste de China y el fruto es altamente apreciado a nivel mundial por su sabor y por la presencia de compuestos carotenoides, vitamina C y antocianinas [1]. La producción anual de durazno a nivel mundial es de 19.25x10<sup>6</sup>TM y los principales productores son China, Italia, Estados Unidos, España y Grecia [2]. En el Ecuador, la producción de durazno oscila alrededor de 3 125 TM por año, la cual no abastece

ISSN 1390-5384





la demanda nacional. El cultivo enfrenta algunas limitaciones principalmente debidas a enfermedades causadas por hongos [3] y al uso de variedades “criollas” cuyo rendimiento es bajo en comparación con variedades élite que se cultivan en otras partes del mundo. Las variedades más comunes en nuestro país son Diamante, Conservero amarillo, Chagrahuay tambo, Puka Shungo, Tajón, Fortuna, Zapallo, Abridor amarillo y Sungold [4]. La producción de estas variedades podría ser optimizada mediante cruzamientos y obtención de variedades híbridas con características mejoradas. Sin embargo, estos híbridos por lo general tienen problemas para germinar, se ha encontrado, por ejemplo, una alta proporción de abortos en muchos cruzamientos [5]. Una alternativa para superar estos problemas es su propagación mediante cultivo in vitro.

El cultivo in vitro de plantas consiste en utilizar cualquier tejido vegetal con fines de propagación en condiciones asépticas y controladas de laboratorio [5]. El cultivo de embriones de durazno ha sido ampliamente utilizado y desarrollado con diferentes fines [6]. El cultivo de embriones maduros se ha utilizado para eliminar la dormancia de las semillas y en programas de mejoramiento destinados a producir patrones resistentes a nemátodos y tolerantes a estrés ambiental [7, 8]. Por otro lado, el cultivo de embriones inmaduros así como el rescate de embriones de durazno se ha utilizado para obtener híbridos, especialmente en cruzamientos con otras especies del género *Prunus* como almendra (*P. amygdalus*), albaricoque (*P. americana*), y ciruela (*P. domestica*) con el fin de obtener características como tolerancia a heladas, adaptabilidad a suelos pobres en nutrientes, sequías y mejoras en la calidad de los frutos [9]. En la actualidad la mayor cantidad de investigación en torno al cultivo de embriones de durazno y el mejoramiento de la especie se lleva a cabo en los grandes países productores: China, Italia, España, Estados Unidos y Japón [10].

El objetivo del presente estudio fue evaluar el porcentaje de germinación de embriones maduros de durazno (var. Diamante) y la eficiencia de la técnica hasta producir plantas de invernadero. Adicionalmente, se evaluó este protocolo para la germinación de embriones híbridos (var. Diamante x var. Florida), para determinar la aplicabilidad del mismo en programas de mejoramiento genético de durazno, y así aportar a un manejo más eficaz de este frutal con potencial económico interesante en el país.

## Métodos

### Material Vegetal

Se obtuvo frutos recién cosechados de la variedad Diamante de durazno de la plantación San Felipe ubicada en la hacienda Corranquí en la provincia de Imbabura. Se removió el mesocarpo de los frutos y se enjuagó con

abundante agua las semillas aún cubiertas del endocarpo para eliminar residuos de pulpa. Con ayuda de una prensa se retiró el endocarpo y se liberó las semillas.

### Desinfección de semillas, siembra de embriones y germinación

La desinfección de las semillas consistió en su inmersión en alcohol al 70 % por 5 minutos y en hipoclorito de sodio al 1.25 % por 20 minutos con agitación constante. A continuación, se realizaron varios lavados en agua destilada estéril para eliminar residuos de hipoclorito, y se dejó las semillas en remojo en agua destilada estéril por 24 horas dentro de la cámara de flujo.

Se eliminó la cubierta seminal de las semillas y los embriones se sembraron en los diferentes medios de cultivo y concentraciones hormonales de acuerdo a las especificaciones que se describen más adelante. El tratamiento de temperatura se hizo sometiendo la mitad de embriones a un período de estratificación a 4°C por 40 días, transcurrido el cual se los colocó en el cuarto de cultivo (fotoperiodo 16 horas, temperatura 18°C), mientras que la otra mitad de los embriones se colocó en el cuarto de cultivo a 18°C y 16 horas fotoperiodo desde el momento de la siembra en los medios de cultivo. El porcentaje de germinación y las características de crecimiento de las plántulas: número de hojas y altura de tallo se tomaron 70 días después de la siembra. Finalmente, el protocolo con el que se obtuvo el porcentaje de germinación más alto fue replicado en híbridos (var. Diamante x var. Florida), para comprobar la aplicabilidad del mismo en la propagación de las plántulas resultantes de estos cruzamientos.

### Enraizamiento

Se probaron 2 tratamientos de inducción de raíces. El primero consistió en un subcultivo de las plántulas que germinaron in vitro y que presentaron problemas para enraizar, a un medio MS+ IBA 3mg/L por 8 días, el segundo en un subcultivo al mismo medio por 16 días. Luego de la inducción de raíces, las plantas fueron transferidas a medio MS basal sin hormonas para que se complete el desarrollo y crecimiento de raíces en el cuarto de cultivo con las condiciones de fotoperiodo y temperatura indicadas previamente.

### Aclimatación

Seis semanas después de la germinación, se tomó plantas que habían sido sometidas al período de estratificación y plantas que no habían sido sometidas a dicho tratamiento. La transferencia de las plantas desde los frascos hasta los sustratos de aclimatación se llevó a cabo en cámara de flujo laminar. Se usó un sustrato estéril de turba y vermiculita 1:1 en vasos cubiertos con plástico. Se regó las plantas una vez por semana y el plástico fue retirado paulatinamente hasta la quinta semana en la cual se retiró por completo. Transcurrido este tiempo, las plantas se trasplantaron a fundas de vivero y se las llevó al invernadero de la Universidad San Francisco

de Quito. Después de dos semanas en el invernadero se determinó y comparó el porcentaje de sobrevivencia de las plantas provenientes o no de un período de estratificación previo.

### Diseño experimental

El factorial 2x3x5 (temperatura, medios de cultivo y dosis hormonales) fue dispuesto en un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA). El factor temperatura (4°C y 18°C) constituyó los bloques, y en ellos se distribuyeron los medios de cultivo MS [11] 1/2MS, WP [12] y las concentraciones hormonales (ausencia de hormonas, BAP 0.5ppm, BAP 1ppm, BAP 4ppm+ IAA 0.5ppm y BAP4ppm + IBA 0.5ppm) que fueron seleccionadas en base a estudios previamente reportados [13]. Para cada uno de los tratamientos se sembró 20 semillas y el ensayo se realizó por triplicado.

### Análisis estadístico

Los datos de porcentajes de germinación de embriones fueron corregidos usando una transformación angular (arco sin(x)) y después se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre los valores promedio de los tratamientos se analizaron con el método diferencia mínima significativa (LSD) ( $p < 0,001$ ) usando el programa Statgraphics Centurion Program. Para los datos de crecimiento de las plántulas se calculó promedios y desviación estándar.

## Resultados

### Germinación de embriones de durazno var. Diamante

El porcentaje de germinación de embriones de durazno fue influenciado significativamente por dos (temperatura y medios de cultivo) de los tres factores evaluados, así como por su interacción ( $p < 0,001$ ) (Tabla 1, Figura 1a). En relación a la temperatura, al tratamiento a 4°C le correspondió un promedio de 69 % de germinación contra 50 % del tratamiento a 18°C. En cuanto a los medios de cultivo el porcentaje más alto se obtuvo con el medio  $\frac{1}{2}$ MS (71 % vs 60 % y 47 % del MS y WP respectivamente). La mejor interacción fue la estratificación a 4°C combinada con el medio 1/2MS (84 % germinación,  $p < 0,001$ ). Por otro lado, la adición de hormonas no influyó diferencialmente en la germinación.

El resultado obtenido en el presente estudio es congruente con lo reportado en la literatura. La superioridad del medio 1/2MS sobre los otros ensayados está relacionada con la menor concentración de sales del primero que ya se había reportado previamente como favorable para la germinación de embriones de durazno alcanzando un porcentaje de germinación de hasta un 90 % [14].

En cuanto a la estratificación (tratamiento a 4°C), su impacto positivo en la germinación también ha sido previamente mencionado. Las semillas de durazno, como de muchas otras especies del género *Prunus* acumulan

Factor	%Germinación ± S.E
<b>Temperatura</b>	
18°C	50.32 ± 2.95b
4°C	60.17 ± 2.95a
<b>Medios de Cultivo</b>	
$\frac{1}{2}$ MS	71.63 ± 3.61a
MS	60.37 ± 3.61b
WP	47.23 ± 3.61c
<b>Hormonas</b>	
BAP 0.5 mg/L	60.38 ± 4.66
BAP 1 mg/L	56.37 ± 4.66
BAP 4 mg/L + IAA 0.5 mg/L	65.75 ± 4.66
BAP 4 mg/L + IBA 0.5 mg/L	65.95 ± 4.66
Ausencia de hormonas	50.26 ± 4.66

**Tabla 1:** Porcentaje de germinación de embriones maduros de durazno variedad Diamante bajo la influencia de los tres factores ensayados: temperatura, medios de cultivo y hormonas

grandes cantidades de ácido abscísico (ABA) en la cubierta seminal, cotiledones y en el mismo embrión, principalmente durante la última etapa del desarrollo de la semilla [15]. Por esta razón, las semillas requieren un período de frío de entre 10 a 12 semanas para romper la dormancia y permitir la germinación, período en el cual se sintetiza ácido giberélico (GA) que promueve e incrementa la actividad enzimática en el embrión, mientras que la concentración de ABA se reduce [8]. El retiro de la testa permite reducir significativamente el período de frío requerido debido a que se remueve una buena parte del ácido abscísico acumulado; además esta estructura tiene una acción reguladora sobre la germinación de modo que al ser eliminada, factores químicos y fisiológicos activan el proceso [8]. En varios estudios previos se ha reportado la estratificación como un paso clave para la germinación de durazno [13, 16, 17].

Pese a que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin reguladores de crecimiento si se pudo identificar porcentajes de germinación ligeramente mayores en los tratamientos con hormonas en comparación con los sin hormonas tanto en las plantas con y sin estratificación (Tabla 1). Previamente se ha reportado como favorable la presencia de citoquininas en la germinación de embriones de durazno debido a que concentraciones moderadas de estas hormonas (0.5-1mg/L) promueven la división celular, contrarrestan el efecto de dormancia provocado por el ácido abscísico y de esta manera aceleran la germinación de la semilla [7, 13, 14].

La germinación de embriones híbridos (var. Diamante x var. Florida), fue exitosa utilizando medio MS con la mitad de la concentración de sales y sometiendo a los embriones a un período de estratificación a 4°C por 40 días. El porcentaje de germinación obtenido fue del 61 %; a pesar de que este porcentaje es menor al de los embriones var. Diamante, se pudo comprobar que el protocolo estandarizado puede ser utilizado para híbridos generados en programas de mejoramiento.



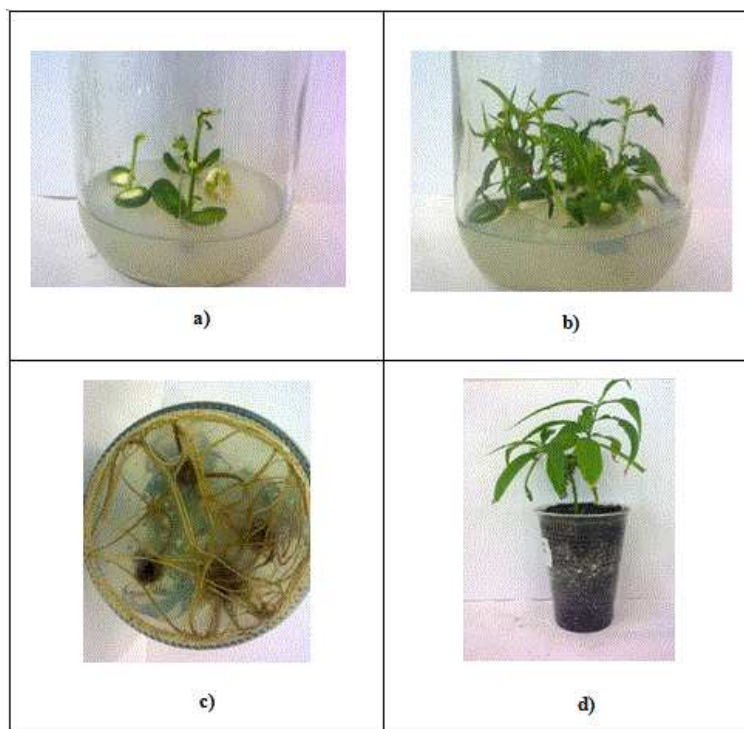


Figura 1: Cultivo in vitro de embriones maduros de durazno: a) Germinación de embriones de durazno var. Diamante en medio MS sin hormonas después de un período de estratificación a 4°C por 40 días, b) Crecimiento de plántulas del durazno var. diamante. Aproximadamente 4 semanas después de su germinación, c) Enraizamiento de retoños de durazno después del tratamiento con 3mg/L de IBA por 16 días, d) Aclimatación de plantas de durazno var. Diamante (planta a las 5 semanas de aclimatación).

### Desarrollo de Plántulas

En cuanto a las condiciones de crecimiento de las plántulas, no se encontró un tratamiento que favorezca los tres parámetros medidos: número de hojas, número de raíces y altura de tallo (Figura 1b). El mayor número de raíces principales por plántula se obtuvo a partir de tratamiento de estratificación a 4°C en medio MS + BAP 1mg/L (promedio 2.4 raíces). En cuanto al número de hojas el tratamiento más favorable fue estratificación a 4°C en medio AM + BAP 4mg/L + IBA 0.5mg/L (promedio 10 hojas). Para la altura del tallo, el mejor tratamiento fue estratificación a 4°C en medio AM + BAP 1mg/L (promedio 2.9cm). Pese a que no se observó un solo medio que significativamente favorezca el crecimiento de plántulas, se pudo comprobar que concentraciones altas de citoquininas (>1mg/L) y bajas de auxinas (<0.5mg/L) estimularon el desarrollo de mayor número de hojas pequeñas, pero inhibieron la iniciación radicular tal como ha sido previamente reportado para durazno [13].

### Enraizamiento de plántulas.

El proceso de enraizamiento de retoños fue exitoso en los dos tratamientos ensayados. En la siembra de plántulas en medio suplementado con 3mg/L de IBA por ocho días se obtuvo un porcentaje de enraizamiento del 83 % y en el tratamiento por 16 días el porcentaje fue del 100 % (Figura 1c). La diferencia entre ambos tratamientos fue significativa ( $p < 0.05$ ). Adicionalmente, las raíces formadas en el tratamiento de 16 días fueron más

gruesas y largas en comparación con el tratamiento de 8 días. En ambos casos se observó la formación de callo en la base de los explantes. Este reporte es congruente con el previamente reportado por Kalinina y Brown (2007) quienes también probaron enraizamiento utilizando 3mg/L de IBA en períodos de 4 a 28 días obteniendo los mejores resultados en tiempos cortos de cultivo en presencia de la hormona (4-8 días) [18].

### Aclimatación.

La sobrevivencia de las plantas sometidas al proceso de aclimatación varió dependiendo de si los embriones de los que provenían tuvieron o no un tratamiento de estratificación a 4°C. Así, el porcentaje de sobrevivencia de las plantas que provenían de embriones sometidos a estratificación fue del 80 %, mientras que las que provenían de embriones no estratificados fue del 50 % (Figura 1d). En las primeras etapas de aclimatación se pudo observar arrosetamiento de las plantas provenientes de ambos tratamientos, dicho arrosetamiento estuvo caracterizado por la presencia de entrenudos cortos en los cuales las hojas crecían unas sobre otras y fue predominante en plantas que no pasaron por estratificación (50 % de plantas sin estratificación presentaron este fenotipo, en comparación con el 33 % de las plantas que provenían del tratamiento de estratificación). Aproximadamente un mes después de la aclimatación, el tallo principal y los brotes laterales presentaban ya un crecimiento normal y el arrosetamiento desapareció. La sobrevivencia alcanzada en este estudio puede ser considerada aceptable en comparación con otros estudios

previos de cultivo in vitro de durazno [19]. En cuanto al arrosamiento, constituye también un fenómeno común en la aclimatación de durazno y se piensa que su causa es la existencia de concentraciones elevadas de ABA en las plántulas que inhibe el desarrollo correcto del tallo; a medida que la planta crece, la producción de otras hormonas contrarresta los efectos del ABA [7, 8]. Se ha reportado también que la estratificación al contrarrestar el efecto del ABA, disminuye el arrosamiento de las plantas aclimatadas [20].

### Conclusiones

Se pudo determinar que las mejores condiciones para la germinación de embriones maduros de durazno variedad Diamante son la siembra en medio de cultivo  $\frac{1}{2}$  MS sin hormonas y un período de estratificación de 40 días a 4°C, condiciones en las que se obtuvo un porcentaje de germinación del 84 %. La adición de concentraciones altas de citoquininas (>1mg/L) y bajas de auxinas (<0.5mg/L) dio lugar al desarrollo de las plántulas con mayor número de hojas. En estas condiciones las plántulas germinadas no tienen un desarrollo de raíces óptimo por lo que dicho enraizamiento se logró mediante un subcultivo en medio MS con 3mg/L de IBA por 16 días. Finalmente, en la aclimatación se obtuvo una supervivencia de plantas provenientes del tratamiento de estratificación del 80 % utilizando un sustrato turba/vermiculita 1:1. La eficiencia de este protocolo pudo ser trasladada a los híbridos resultantes de los cruzamientos entre duraznos var. Diamante x var. Florida alcanzando un porcentaje de germinación de embriones del 61 %.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Daniel Palacios por la edición del resumen en inglés, y a todo el equipo de investigación del Laboratorio de Biotecnología Vegetal.

### Referencias

- [1] Layne, D.; Bassi, A. 2008. "The peach: Botany, production and uses". Biddles: King's Lynn CAB International: Cambridge, MA. USA.
- [2] FAOSTAT 2012. "Índice anual de producción de frutas, durazno", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Enlace: [http : //faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx](http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx) Consultado: 30-11-2012.
- [3] SIGAGRO 2010. Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca. MAGAP.
- [4] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 1992. "El cultivo del duraznero en las zonas altas del Ecuador", Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Manual No. 23. Programa de Fruticultura.
- [5] Bridgen, M. 1994. "A review of plant embryo culture". *HortScience*. 29: 11.
- [6] Pierik, M. 1987. "In vitro culture of higher plants". *Martinus Nijhoff. Dordrecht*. 139-148.
- [7] Lipe, N.; Crane, J. 1996. "Dormancy regulation in peach seeds". *Science*. 153: 541-542.
- [8] Cetinbas, M.; Koyuncu, F. 2006. "Improving germination of *Prunus avium* l. Seeds by gibberellic acid, potassium nitrate and thiourea". *Hort. Sci*. 33: 119-123.
- [9] Kuden, A.; Tanriver, E.; Gulen, H.; Buyukalaca, S. 1998. "Embryo rescue of peach hybrids". *Acta Hort*.
- [10] Serrano, P. 2005. "Transformación genética del albaricoquero (*Prunus americana* L.), mediada por agrobacterium, y regeneración de plantas transformadas". *Universidad de Murcia, Departamento de Biología Vegetal*.
- [11] Murashige, T.; Skoog, F. 1962. "A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures". *Physiol. Plant*. 15: 1026-1027.
- [12] Lloyd, G.; McCown, B. 1980. "Commercially feasible micropropagation of mountain laurel *kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture". *Comb. Proc. Intl. Plant. Prop. Soc.* 30: 421-427.
- [13] Jeengol, N.; Boonprakob, U. 2004. "Rescue of peach embryo in culture media with additional of 6-bezylademine and gibberellic acid". *Nat. Sci*. 38: 468-474.
- [14] Liu, W. 2007. "Interespecific hybridation of *Prunus persica* with *P. americana* and *P. salicina* using embryo rescue". *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 289-299.
- [15] Piagessi, A. 1991. "Level of abscisic acid in integuments, nucellus, endosperm and embryo of peach seeds (*Prunus persica* l. cv springcrest) during development". *Plant Physiology*. 97: 793-797.
- [16] Anderson, N. 2002. "Cooler temperature during germination improves the survival of embryo cultured peach seed". *HortScience*. 32: 402-403.
- [17] Kukharchyk, N. and Kastrickaya, M. 2005. "Embryo rescue techniques in *Prunus* L. breeding". *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 14: 129-145.
- [18] Kalinina, A. and Brown, C. 2007. "Micropropagation of ornamental *Prunus* spp. and gf305 peach, a *Prunus* viral indicator". *Plant Cell Report*. 26: 927-935.
- [19] Parada Ponce D.; Villegas Monter A. 2009. "Propagación in vitro del híbrido almendrox durazno H1". *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32: 103-109.
- [20] Moore, J.; Janick, J. 1993. "Avances en la genotecnia de frutales", México. AGT Editor.

## Multiscale Simulations in Welds

Edison A. Bonifaz\*

*Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías –El Politécnico–  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica  
Casilla Postal 17-1200-841, Quito, Ecuador*

*\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: ebonifaz@usfq.edu.ec*

Editado por/Edited by: F. Javier Torres, Ph.D.

Recibido/Received: 11/20/2012. Aceptado/Accepted: 12/05/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

Welding processes involve complex couplings between fluid dynamics, heat transfer and the metallurgical changes experienced by the base metal. Distortion, residual stresses, grain structure, cooling rates, high temperatures and consequently the reduced strength of a structure in and around a weld joint are produced by the localized thermal cycling caused by the intense heat input of fusion welding. With the virtual prediction of weld profiles (shape and size), solidification structures, distribution of impurities, formation of dislocations, distortions and residual stresses of a welded part, processes can be optimized in the early stages of prototyping.

The technological properties of fusion welds are formed due to the simultaneous effects of different physical phenomena which occur on different length scales. Correspondingly the simulation of technological properties of fusion welds requires the multiscale approach.

**Keywords.** Residual Stresses, Voronoi Cell Finite Element Modeling (VCFEM), Welding, Solidification; Dislocations.

### Resumen

Los procesos de soldadura involucran acoplamientos complejos entre dinámica de fluidos, transferencia de calor y los cambios metalúrgicos que experimenta el metal base. Distorsión, tensiones residuales, estructura granular, tasas de enfriamiento, altas temperaturas y consecuentemente la resistencia reducida de una estructura en y alrededor de una junta soldada, son producidos por el ciclo térmico localizado causado por la intensa entrada de calor en soldadura de fusión. Con la predicción virtual de perfiles de suelda (forma y tamaño), estructuras de solidificación, distribución de impurezas, formación de dislocaciones, distorsiones y tensiones residuales de una parte soldada, los procesos pueden ser optimizados en la etapa temprana del diseño (prototipo). Las propiedades tecnológicas de las sueldas de fusión son formadas debido a los efectos simultáneos de diferentes fenómenos físicos los cuales ocurren a diferentes escalas. Correspondientemente, la simulación de las propiedades tecnológicas requiere la aproximación multiescala.

**Palabras Clave.** Tensiones residuales, Modelación Voronoi-Elementos Finitos, Soldadura, Solidificación, Dislocaciones.

Fusion welding processes are widely used for general repair applications. Successful repair requires the transient heat and fluid flow phenomena of the weld pool be addressed adequately to prevent the formation of new grains, equiaxed or columnar, ahead of the epitaxial columnar dendrites. It is well known that the dynamic behaviour of weld pools, due to heat and fluid flow in the weld pool, has significant influence on the temperature distribution, shape and size of the weld pool, final solidification microstructures, and consequently the resultant mechanical properties of the welded joints [1]. It is of great significance to understand the process quan-

tatively, focused on modelling the transient dynamics of the weld pool, especially the transient heating period after the arc ignites and the transient cooling period after the arc extinguishes to create specific solidification conditions.

Welding processes involve complex couplings between fluid dynamics, heat transfer and the metallurgical changes experienced by the base metal. The most critical input data required for welding fluid flow-thermal analysis are the parameters that describe the heat input to the weldment from the heat source [2, 3]. Distortion, resid-

ISSN 1390-5384



ual stresses, grain structure, cooling rates, high temperatures and consequently the reduced strength of a structure in and around a weld joint are produced by the localized thermal cycling caused by the intense heat input of fusion welding [2, 3]. With the virtual prediction of weld profiles (shape and size), solidification structures, distribution of impurities, formation of dislocations, distortions and residual stresses of a welded part, processes can be optimized in the early stages of prototyping. Predictions can be compared with experimental work to be feedback into the interacting model/weld fabrication system in order to optimize the welding process.

In ref. [3], it has been shown that where local models are sufficient to predict stresses, only global three-dimensional (3D) models can correctly predict distortions. In the 3D situation however, analysis of welding conditions has shown the presence of high temperature gradients leading to stresses and plastic strains in small areas, coupled with a varying microstructure. These factors necessitate the refinement of mesh size near the welding line, increasing drastically the models' size and consequently lead to unreasonable computation times. From a finite element point of view is not difficult to establish stable welding process using small geometric domains, so, small 3D global models that require small FE meshes can be used to correctly predict distortions. Physically based modeling of the entire three-dimensional (3-D) melt-pool geometry is a computationally formidable task. However, modeling the influence of the entire thermal cycle of the welding process with a physically based model for the material can provide new understanding of the microstructure and distortion evolution due to the welding process [4].

Differences in calculated and measured residual stresses are attributed to lack of an accurate stress-strain constitutive relation, experimental errors, and the use of Finite Element (FE) bulk coarse grids. The more textured the material, or the higher the intergranular stress (micro stress), or when there are chemistry changes, the less likely for measured and simulations to agree. An explanation could be that traditional welding simulations do not consider the polycrystalline nature of the specimen in the FE mesh step. Thus the uncertainties in the numerical calculations procedures include the inaccuracies in the calculation of thermal cycles as well as the approximations in the assumed stress-strain relation, particularly when important solid-state transformations take place [4, 5]. The critical first step in creating a science base not only for the repair applications but also for the design and analysis of welds, is to accurately compute the transient temperature field that lead to the formation of non equilibrium phases in and around the welded joint. Numerous welding problems, particularly those concerning with aircraft repair and fabrication, pressure vessels, piping and safety in the nuclear industry, are related to microstructure development and residual stresses [2]. The residual stresses that develop both

in the fusion zone and heat-affected zone are detrimental to the integrity and service life of the welded part. Debroy and David [5] have shown that residual stresses can cause problems such as hydrogen-induced cracking and stress corrosion cracking, as well as distortion, initiate fracture and degrade the corrosion resistance of welded structures. Consequently, post weld heat treatment is often used to reduce residual stresses. Fracture mechanics based structural integrity assessments of pressure vessels and piping are widely used to support the economic and safe management of operating engineering plant. GTAW engineering techniques provide good quality, metallurgically bonded with a minimal heat input into the work piece. Although residual stresses have been studied for many decades, accurate calculation and measurement of these stresses still remains a major issue.

Computational models however can provide a detailed description of the residual stress distribution and microstructure development in weldments [4-6], though a prerequisite for the calculations is the detailed and accurate time-temperature history obtained from numerical simulations. Commercial software and in-house codes are used to simulate welding and joining processes. The predicted thermal, fluid and structural responses from these simulations are used for optimizing processes and carrying out structural integrity calculations. The technological properties of fusion welds are formed due to the simultaneous effects of different physical phenomena which occur on different length scales:

- (i) Macroscopic (the order of magnitude of 0.1-1 mm): temperature distribution, temperature gradient, cooling rate, distortion, etc.;
- (ii) Mesoscopic (the order of magnitude of 10-100  $\mu\text{m}$ ): grain size, texture, plastic strains, strain gradients, residual stresses, etc.;
- (iii) Microscopic (the order of magnitude of 1-10  $\mu\text{m}$ ): primary and secondary dendrite arm spacing, micro residual stresses, morphology, microsegregation, etc.

Correspondingly the simulation of technological properties of fusion welds requires the multiscale approach. The multi-scale analysis framework covers micromechanical stress and failure analysis, as well as thermal analysis, of extended microstructural regions. Problems solved by the Voronoi Cell Finite Element Method (VCFEM) range from heat transfer and stress-strain analysis of elastic, elastic-plastic, and viscoplastic material microstructures to microstructural damage models including interfacial debonding and ductile failure. Crack initiation typically starts at surface flaws or microstructural discontinuities, such as interfaces with second phase particles or grain boundaries. The geometry of the discontinuities and the orientation of the grains relative to the discontinuities play a critical role in crack initiation. Consequently, a model that captures these key relevant phenomena in order to predict crack initiation is mandatory.

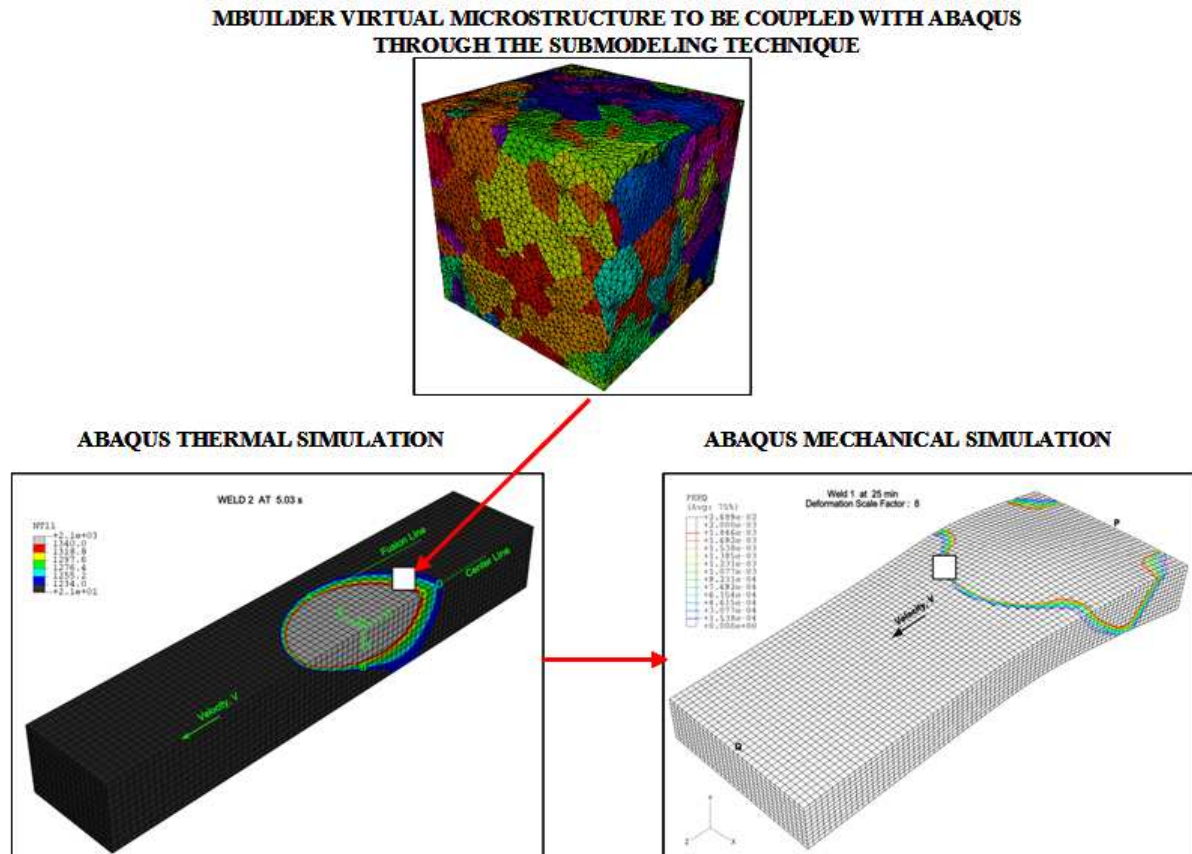


Figure 1: The Voronoi cell finite element physics-based model (a thermal-metallurgical-mechanical multiscale approach)

Heat flow during welding is of great interest to welding engineers and metallurgists. It not only controls the size of the fusion and heat-affected zones, but also strongly affects the microstructure and properties of the resultant weld. The temperature and velocity distributions of the molten metal as well as the cooling rate after welding operation affect the weld geometry, the microstructure, and the mechanical properties of weld zone. Near-perfect control of the temperature and heat flow distribution during welding crystallization (inside the weld pool) is essential not only to minimize distortion but also to control the distribution of impurities and the formation of voids and dislocations in the crystal lattice during cooling of the solid material. The crystallization process (welding microstructure evolution), the residual stresses (types I, II and III), the plastic strains and the dislocation density evolution are research fields of growing importance in the most prestigious research institutes around the world. The evolution of creep damage in the form of voids and cracks in a weld are related with dislocation emission and evolution. For instance, Lubarda et al., [7] shown that the critical stress for the dislocation emission decreases with increasing void size, so that less stress is required to emit dislocations from larger than smaller voids.

As multi-phase metal/alloy systems are increasingly being used in industry, the science and technology for these heterogeneous materials has advanced rapidly. By ex-

tending analytical and numerical models, engineers involved with predicting the performance and failure of materials in structure-materials interactions, can analyze failure characteristics of the materials before they are integrated into the design process. In a previous work by Bonifaz and Richards [8], a thermal model to accurately generate weld profiles, analyze transient heat flow, and thermal cycles for three different welding speeds at constant heat input is clearly described. The thermal model developed was used to compute the transient temperature field, to predict solidification structures and to calculate the thermal gradient  $G$  and the growth rate  $R$  used to evaluate quantitatively the columnar to equiaxed transition in the GTAW process. Confidence was established in the model by comparison with theoretical, numerical and conventional phenomenological material models such as Kou [9], Norman et al, [10], Goldak et al, [11] and Goldak et al, [12]. For instance, thermal cycles at the weld centerline and fusion line reported in Kou [9], agree very well with the thermal cycles calculated in the mentioned work. Similarly, Paul and Debroy [13] correlated the calculated cooling rate in the weld pool with the secondary arm spacing. The cooling time through the solidification temperature range is shorter at the weld centerline and longer at the fusion line. As such, the cooling rate through the solidification temperature range increases and the dendrite arm spacing decreases from the fusion line to the centerline. In



both the Kou [9] and Paul and Debroy [13] references, weld micrographs show the solidification microstructure gets finer from the fusion line to the centerline.

Epitaxial welding can be achieved on single-crystal (SX) components if adequate control of welding process is maintained, Norman et al. [10], Liu and Dupont [14], Park et al. [15], Richards et al., [16], Vitek, [17], Mokadem et al, [18] and Gäumann et al, [19]. It requires solidification theory for a close control of macroscopic heat input (epitaxy) and microstructure development to control the columnar to equiaxed transition (CET). Solidification must occur epitaxially from the underlying substrate without the nucleation of strays and/or equiaxed grains in the liquid. Melt-pool geometrical parameters which depend mainly on heat input have a profound influence on the dendrite growth velocity and growth pattern in the melt pool as demonstrated in Liu and Dupont [14], and Park et al, [15].

In Bonifaz and Richards [20], the mechanical model predicts highest residual stresses in regions of highest elastic strains, in agreement with conventional phenomenological material models where the macroscopic residual stress is always directly related to the macroscopic elastic strain. The highest residual stresses are located at the fusion line (where coarser dendrite secondary arm spacing exist); and the highest plastic strains are located at centerline (where finer dendrite secondary arm spacing exist). The mathematical modeling had been investigated with a view to generate numerical data to define an optimum Stress–Strain Evolution in Cast IN-738 Superalloy Single Fusion Welds parameter space to prevent the formation of cracks in the repair of gas turbine components. From the above observations, it appears that the strong plastic strain gradients at the centerline are directly related to finer dendrite arm spacing. However, no experimental attempt was made to demonstrate the strong size-dependence of plastic deformation in the micron range. It is important to point out that dendrite secondary arm spacing belongs to the micron-scale, while local plastic strains and residual stresses (type I) are considered to belong to the meso-scale, so a connection between the two scales is yet unclear. It is suggested that to clarify the link between scales, the effect of initial base metal microstructure (meso-scale) and dendrite secondary arm spacing (micron-scale) on geometrically necessary dislocations evolution need to be included in the analysis. In Bonifaz and Gil Sevilano [21], it was demonstrated that more dislocations are stored in specimens with finer grains and that the total dislocation density is not a single function of strain.

Experiments have shown that materials display strong size effects when the characteristic length scale associated with non uniform plastic deformation is on the order of microns. The classical plasticity theories cannot predict this size dependence of material behavior at the micron scale because their constitutive models possess no internal length scale. On the other hand, it is still

not possible to perform quantum and atomistic simulations on realistic time and length scales required for the micron level structures [22]. A continuum theory for micron level applications is thus necessary to bridge the gap between conventional continuum theories and atomistic simulations [22]. A mechanism based theory of strain gradient plasticity based on a multiscale framework linking the microscale notion of statistically stored and geometrically necessary dislocations to the mesoscale notion of plastic strain and strain gradient is then necessary.

With all of the above in mind, the development of a physics-based model for simulating initiation and propagation of cracks in metal welded specimens, beginning at the microstructural length scale is necessary. The temperature predictions obtained from thermal-metallurgical models provide the “thermal loads” to the mechanical models. To predict dislocations however, the strain hardening model documented in ref. [23] could be inserted into the finite element mechanical analysis. Of this manner, the coupled thermal-metallurgical-mechanical model will handles time-dependent problems in three dimensions. This Voronoi Cell Finite Element Physics-Based Model (Fig. 1) will compute accurate stress, strain and dislocations fields in polycrystalline specimens under the welding processing conditions employed.

## References

- [1] Wu Ch. S.; Yan F. 2004. “Numerical Simulation of transient development and diminution of weld pool in Gas Tungsten Arc Welding.” *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.* 12: 13–20.
- [2] Bonifaz, E. A., 2000. “Finite Element Analysis of heat flow in single pass arc welds.” *Welding Journal.* 79: 121–125.
- [3] Bonifaz, E. A., 2007. “Thermo-Mechanical Modeling of Single Fusion Welds” *Canadian Welding Association Journal.* 1: 13–20.
- [4] Thiessen R. G.; Richardson, I. M. 2006. *Metall. Mater. Trans. B.* 37B: 655–663.
- [5] Debroy, T.; David, S. A. 1995. “Physical processes in fusion welding.” *Reviews of Modern Physics.* 67: 85–112.
- [6] Brown, S. B.; Song, H. 1992. “Implications of Three-Dimensional Numerical Simulations of Welding of Large Structures” *Welding Journal.* 71: 55–62.
- [7] Lubarda, V.A.; Schneider, M.S.; Kalantar, D.H.; Remington, B.A.; Meyers, M.A. 2004. “Void growth by dislocation emission” *Acta Materialia.* 52: 1397–1408.
- [8] Bonifaz, E. A.; Richards, N. L. 2009. “Modeling Cast In-738 Superalloy Gas-Tungsten-Arc-Welds” *Acta Materialia.* 57: 1785–1794.
- [9] Kou S. 2003. “Welding metallurgy.” 2nd ed. Wiley, New York, NY.
- [10] Norman, A. F.; Ducharme, R.; Mackwood, A.; Kapadia, P.; Prangnell P. B. 1998. “Application of thermal modelling to laser beam welding of aluminum alloys.” *Sci Technol Welding Joining.* 3: 260–266.

- [11] Goldak, J. A.; Chakravarti, A. P.; Bibby, M.; 1984. "A new finite element model for welding heat sources." *Metallurgical Transactions*. 15B: 299–305.
- [12] Goldak, J.; Bibby, M.; Moore, J.; House, R.; Patel, B. 1986. "Computer modeling of heat flows in welds." *Metallurgical Transactions*. 17B: 587–600.
- [13] Paul, A.; Debroy, T. 1988. "Free surface flow and heat transfer in conduction mode laser welding." *Met. Trans. B*. 19: 851–858.
- [14] Liu, W.; Dupont J.N. 2004. *Acta Mater*. 52: 4833–4838.
- [15] Park, J.W.; Babu, S.S.; Vitek, J.M.; Kenik, E.A.; David, S.A. 2003. *J. App. Phys*. 94: 4203–4212.
- [16] Richards, N.L.; Chaturvedi, M.C.; Liu, Y.G.; Mount K. 1996. *Int. J Mater. Prod. Technol*. 11: 284–290.
- [17] Vitek, J.M. 2005. *Acta Mater*. 53: 53–60.
- [18] Mokadem, S.; Bezenc, C.; Hauert, A.; Jacot, A.; Kurz W. 2007. *Metall Mater. Trans*. 38A: 1500–1510.
- [19] Gäumann, M.; Bezenc, C.; Canalis, P.; Kurz, W.; 2001. *Acta Mater*. 49: 1050–1064.
- [20] Bonifaz, E.A.; Richards, N.L. 2010. "Stress-Strain Evolution in Cast IN-738 Superalloy Single Fusion Welds." *International Journal of Applied Mechanics*. 2: 807–826.
- [21] Bonifaz, E.A.; Gil Sevillano, J. 2000. "Modelo elasto-plástico de estructuras bifásicas policristalinas." PhD thesis, Escuela Superior de Ingenieros, University of Navarra, Spain.
- [22] Gao, H.; Huang, Y.; Nix, W.D.; Hutchinson, J.W. 1999. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 47: 1239–1263.
- [23] Bonifaz, E. A.; Richards, N. L. 2008. "The plastic deformation of non-homogeneous polycrystals." *Int. J. Plasticity*. 24: 289–301.

## Caracterización eléctrica de nano-MOSFETs en tecnología SOI

John P. Artieda<sup>1\*</sup>, Lionel Trojman<sup>1</sup>, Felice Crupi<sup>2</sup>, Lars-Åke Ragnarson<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías –El Politécnico–  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá

<sup>2</sup>Dipartimento Elettronica, Informatica e Sistemistica -DEIS-, Università della Calabria and IUNET  
Via P. Bucci c/o Cubo 42/C, 87036 Arcavacata di Rende, Cosenza, Italia

<sup>3</sup>IMEC, 75 Kapeldreef, B-3001 Leuven, Bélgica

\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: john.artieda@stud.usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: René Játiva, M.Sc.

Recibido/Received: 09/30/2012. Aceptado/Accepted: 11/19/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

This paper reports about the extensive electrical characterization, with low distortion and greater reliability, of MOSFET devices at nanometric scales with ultra thin Fully Depleted (FD) type architecture on Silicon-On-Insulator (SOI) technology to reduce the short channel effects. The parameters of nMOS type devices of  $10 \times 1 \mu\text{m}^2$  gate dimensions with conventional dielectric (SiON) and alternative high-k dielectric ( $\text{HfO}_2$ ) are compared. The extracted parameters are: equivalent oxide thickness (EOT), threshold voltage ( $V_T$ ) as a function of the SOI body voltage ( $V_B$ ), transconductance ( $g_m$ ), maximum transconductance ( $g_{m,max}$ ) and its corresponding relation with mobility. The objective is to find if the classic electrical characterization methodology can be applied to the new ultra thin devices overcoming the challenges and physical difficulties imposed by the SOI technology and to demonstrate if the ultra thin devices behavior is similar to conventional MOSFETs. The semiconductor devices analyzed were provided by the IMEC consortium in Belgium and have been characterized in the new nanoelectronics laboratory at Universidad San Francisco de Quito (USFQ) in Ecuador.

**Keywords.** Electrical characterization, MOSFET, nMOS, nanoelectronics, FD architecture, SOI technology, conventional dielectric SiON, high-k dielectric  $\text{HfO}_2$ , EOT, threshold voltage ( $V_T$ ), transconductance ( $g_m$ ).

### Resumen

En esta investigación se reporta sobre la extensa caracterización eléctrica realizada, con poca distorsión y mayor fiabilidad, a dispositivos MOSFET de tamaño nanométrico con arquitectura ultra delgada tipo Fully Depleted (FD) en tecnología Silicon-On-Insulator (SOI) para reducir los efectos de canal corto. Se comparan los parámetros de dispositivos tipo nMOS, con tamaño de compuerta  $10 \times 1 \mu\text{m}^2$ , con dieléctrico convencional (SiON) y dieléctrico alternativo de alto k ( $\text{HfO}_2$ ). Los parámetros que se extraen son: espesor equivalente de óxido (EOT), voltaje umbral ( $V_T$ ) en función del voltaje de cuerpo SOI ( $V_B$ ), transconductancia ( $g_m$ ), pico de transconductancia ( $g_{m,max}$ ) y su relación con la movilidad. El objetivo es encontrar si los métodos de caracterización eléctrica clásicos pueden ser aplicables para estos nuevos dispositivos superando los retos y dificultades físicas que impone la tecnología de construcción SOI y demostrar si su funcionamiento es como el de los MOSFET convencionales. Los dispositivos semiconductores analizados fueron provistos por el consorcio IMEC en Bélgica y han sido caracterizados en el nuevo laboratorio de nanoelectrónica de la Universidad San Francisco de Quito (USFQ) en Ecuador.

**Palabras Clave.** Caracterización eléctrica, MOSFET, nMOS, nanoelectrónica, arquitectura FD, tecnología SOI, dieléctrico convencional SiON, dieléctrico de alto k  $\text{HfO}_2$ , EOT, voltaje umbral ( $V_T$ ), transconductancia ( $g_m$ ).

### Introducción

La tecnología MOS es la base para el diseño de circuitos digitales actualmente y el MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) es el dispositi-

vo semiconductor más utilizado y constituye el elemento esencial para todo circuito digital moderno. Por ello, el análisis y caracterización eléctrica de los dispositivos FET a escala nanométrica es tan importante pues sirve



para comprobar si su comportamiento se apega a la teoría y para validar los procesos de producción.

Debido a la demanda de mejor desempeño, costo, velocidad así como de mayor densidad de dispositivos en un mismo circuito integrado, las dimensiones de los dispositivos se han reducido en gran manera. La fabricación de los MOSFET convencionales a tamaño nano- métrico se está acercando al límite físico y esto genera nuevos desafíos para los diseñadores. Estos retos se deben a efectos, antes despreciados, que se vuelven relevantes a las nuevas escalas nanométricas de trabajo como los efectos de canal corto y el aumento de la corriente de fuga de la compuerta con la consecuente pérdida de control sobre el canal en el MOSFET de tecnología plana.

Para solventar los efectos de canal corto se ha propuesto la fabricación de MOSFET en tecnología SOI y para reducir la corriente de fuga y mantener control sobre el canal se propone el reemplazo del dieléctrico por materiales de alta constante dieléctrica relativa o alto  $k$ .

### Efectos de Canal Corto

Cuando la longitud de la compuerta ( $G$ ) es reducida y el voltaje del drenaje ( $D$ ) es lo suficientemente alto, las regiones de agotamiento de la fuente ( $S$ ) y  $D$  se hacen comparables a la longitud del canal y ambas regiones llegan a tocarse. Bajo esta circunstancia se pierde el control que  $G$  ejerce sobre el potencial del canal. Esta proximidad de  $S$  con  $D$ , cuando el canal es pequeño, causa una reducción efectiva de la barrera de potencial del canal y permite el paso de electrones/huecos que forman una corriente indeseable que fluye entre  $S$  y  $D$ . A este fenómeno se le llama “punchthrough” [1].

Otro reto es que a longitudes pequeñas de compuerta un pequeño cambio estadístico en su producción, puede causar un gran cambio en el valor del voltaje umbral ( $V_T$ ) lo que sin duda complica mucho la reproducibilidad para circuitos integrados a gran escala [2].

### Aumento de la Corriente de Fuga

El espesor del óxido aislante, al igual que la longitud de la compuerta, se ha venido reduciendo significativamente acorde a la tecnología del transistor.

Existen 2 motivos para reducir el espesor del óxido. La primera es obtener una capacitancia del óxido aislante ( $C_{OX}$ ) mayor y por tanto una corriente de activación del transistor ( $I_{ON}$ ) mayor para maximizar la velocidad del circuito. La segunda razón es para controlar efectos de fuga en la región sub-umbral. Lamentablemente, no es posible obtener capas de óxido tan delgadas como se quisiera.

La producción de capas muy delgadas es difícil y a espesores menores a 1.5 nm el mayor limitante es la corriente de fuga que crece rápidamente por el efecto túnel. Por ejemplo para una capa de 1.2 nm de espesor la fuga puede ser de  $10^3$  A/cm<sup>2</sup>, lo que en un chip de 1

mm<sup>2</sup> de área representa una corriente total de fuga de 10 A. Tal corriente es demasiado alta para dispositivos portátiles y las baterías no podrían soportar más allá de unos cuantos minutos [2].

Otro factor es que en capas muy delgadas el campo eléctrico en el óxido puede ser muy alto y causar rupturas destructivas. Incluso si no se causa ruptura, trabajar por largo tiempo bajo un campo muy alto y con temperaturas elevadas puede romper los enlaces atómicos de la interfaz Silicio-Óxido aislante. Esto produciría un desplazamiento en el valor de  $V_T$  lo que cambiaría el comportamiento del circuito y generaría problemas de fiabilidad [3].

### La tecnología SOI

Los MOSFET SOI o Silicon-On-Insulator son dispositivos que se construyen en una capa fina de Silicio que se asienta sobre un aislante, usualmente SiO<sub>2</sub>, al que se le llama óxido enterrado (BOX). Si la capa de silicio es lo suficientemente delgada, la zona de agotamiento se extiende desde debajo de la compuerta hasta el óxido enterrado y el dispositivo se llama “Fully Depleted” o de agotamiento completo (FD). En caso contrario se llama “Partially Depleted” o de agotamiento parcial (PD).

Con los MOSFET SOI FD se obtienen varios beneficios para solventar los retos de diseño. Por ejemplo la corriente de saturación del drenaje es mayor para los MOSFET SOI que para los de bulto. Y con ellos se reducen considerablemente los efectos de canal corto [2].

Además ayudan considerablemente a mejorar el escalamiento y el desempeño de los dispositivos debido a lo delgado del cuerpo para el canal. Esta característica hace que casi no suceda el “punchthrough” y que el canal se mantenga ligeramente dopado [1].

La capa de óxido enterrado (BOX), en contacto con  $S$  y  $D$ , sirve como buen aislante para reducir la capacitancia del sustrato y por ende mejorar la velocidad del transistor. También, mejora el consumo de potencia debido a que reduce la corriente de fuga que existía entre uniones p-n (tipo diodo) entre  $S$  o  $D$  con el sustrato [4].

### Reemplazo del Dieléctrico Aislante

En vista de las limitaciones en la reducción del espesor de la capa de óxido ( $t_{OX}$ ), los investigadores han reemplazado al SiO<sub>2</sub> por otros dieléctricos de alto  $k$ . De modo que al usar un material con alto  $k$ , mucho mayor que en el caso del SiO<sub>2</sub>, el espesor de la capa del aislante con el nuevo material ( $t_{alto-k}$ ) resulta ser más alto y produce el mismo  $C_{OX}$ , que asegura el mismo control de canal.

La ventaja de este reemplazo de materiales es que la capa de aislante es más gruesa y la barrera de potencial es mayor lo cual evita el efecto túnel de electrones/huecos, y esto conlleva una gran reducción en la corriente de fuga [5].

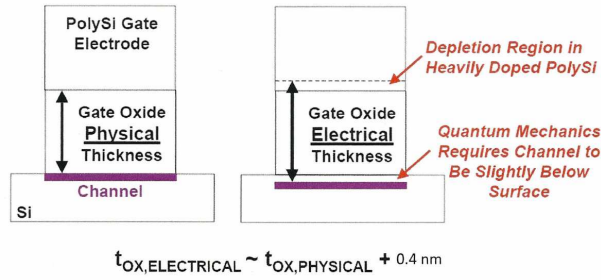


Figura 1: Espesor Eléctrico Efectivo > Espesor Físico del Óxido [4]

## Métodología

### Muestras

Las estructuras bajo análisis son muestras de arquitecturas bajo investigación que aún no se encuentran disponibles comercialmente y se obtuvieron gracias a la colaboración de IMEC con la USFQ. La particularidad que poseen es que el espesor de todas sus partes es muy delgado mientras que los dispositivos SOI comunes son bastante más gruesos y se encuentran en el orden de 100 a 300 nm de espesor para el sustrato de silicio y de óxido.

Los dispositivos MOSFET analizados son nMOS de tipo SOI FD con cuerpo ultra fino (UTB). La compuerta es metálica (TiN) de tamaño  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$  y espesor 10 nm. El dieléctrico aislante tiene un espesor físico aproximado de 2nm y puede ser SiON o HfO<sub>2</sub>. El espesor del canal de silicio es de 8nm y la capa de óxido enterrado SiO<sub>2</sub> (BOX) es de 10nm.

### Mediciones

El principal equipo utilizado para realizar las mediciones fue el Sistema de Caracterización de Semiconductores Keithley Modelo 4200-SCS disponible en el laboratorio de nanoelectrónica de la USFQ.

*Característica C-V:* si se conoce el valor de  $C_{OX}$  es posible relacionarlo con el espesor del óxido ( $t_{OX}$ ) conociendo su permitividad eléctrica ( $\epsilon_{OX}$ ) acorde a la ecuación (1).

$$C_{OX} = \frac{\epsilon_{OX}}{t_{OX}} = \frac{3,9\epsilon_0}{t_{OX}} [F/cm^2] \quad (1)$$

Como los dispositivos analizándose son de tipo SOI, se presenta un reto en la medición de la capacitancia del óxido porque la capacitancia de la compuerta no presenta ninguna característica de acumulación adecuada debido a que no existe un contacto de bulbo.

Para obtener una curva característica C-V de la compuerta. Se utiliza una señal de baja frecuencia en una polarización en inversión de modo que las cargas en inversión respondan de manera correspondiente a la señal aplicada.

Una vez obtenidos los datos experimentales para la curva característica C-V de la compuerta aparecen problemas que afectan la exactitud en la extracción de la capacitancia:

1. Capacitancias parásitas.
2. El efecto “dark space”: efectos de mecánica cuántica que producen una repulsión de la capa de inversión, es decir que las cargas se encuentran ligeramente por debajo de la superficie de la interfaz dieléctrico-canal [1].
3. Poly-depletion: agotamiento del poli-silicio de compuerta.

De modo que la Capacitancia máxima que se halla en la curva C-V (sin  $C_{parásitas}$ ) corresponde a un valor menor que  $C_{OX}$ , un valor conocido como Capacitancia de inversión ( $C_{inv}$ ), y su correspondiente espesor de inversión ( $t_{inv}$ ) mayor que  $t_{OX}$ , y que responden a la ecuación (2) y (3). Este valor también nos es de interés pues la reducción de capacitancia afecta a la velocidad de trabajo del dispositivo.

$$C_{inv} = \frac{\epsilon_{OX}}{t_{inv}} \quad (2)$$

$$t_{inv} = EOT + \Delta t \quad (3)$$

donde EOT es el espesor de óxido equivalente (Equivalent Oxide Thickness),  $\Delta t$  es la variación del espesor eléctrico efectivo con respecto al físico ( $\approx 0.4 \text{ nm}$  (dark space) +  $0.4 \text{ nm}$  (poly-depletion)).

El espesor eléctrico efectivo hallado es mayor que el espesor físico del óxido, como se puede observar en la Fig. 1. El aumento en el espesor eléctrico se debe al efecto “poly-depletion” y al efecto “dark space”. Cada efecto contribuye a un crecimiento de aproximadamente 0.4 nm del espesor eléctrico efectivo con respecto al físico. Esta corrección se vuelve más importante cuando se disminuye el espesor de  $t_{OX}$  [4].

En los dispositivos utilizados en esta investigación, la compuerta de Poli-Silicio ha sido reemplazada por una compuerta metálica con el objetivo de suprimir el efecto “poly-depletion”. Esto se consigue gracias a la alta concentración de portadores del metal.

Por tanto, en esta investigación solo se debe compensar por los efectos mecánico cuánticos y por ello se justifica la aproximación en la Fig. 1 y en la ecuación (5).

*EOT- Experimental:* EOT (Equivalent Oxide Thickness) es una métrica definida para realizar una comparación entre SiO<sub>2</sub> y diferentes dieléctricos de alto-k. Representa el espesor de SiO<sub>2</sub> que sería requerido para lograr la misma capacitancia de óxido que la del material de alto-k considerado, ecuación (4).

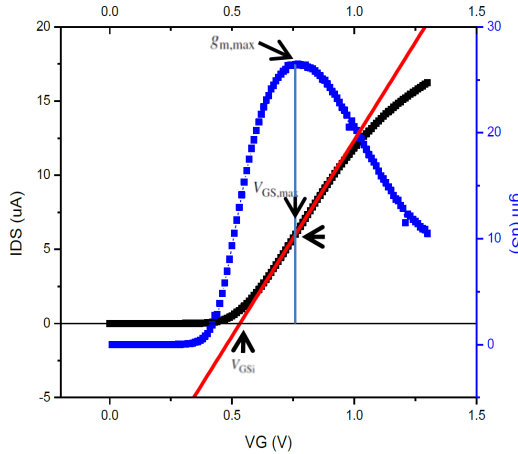


Figura 2: Obtención de VT Método del pico de transconductancia [5]

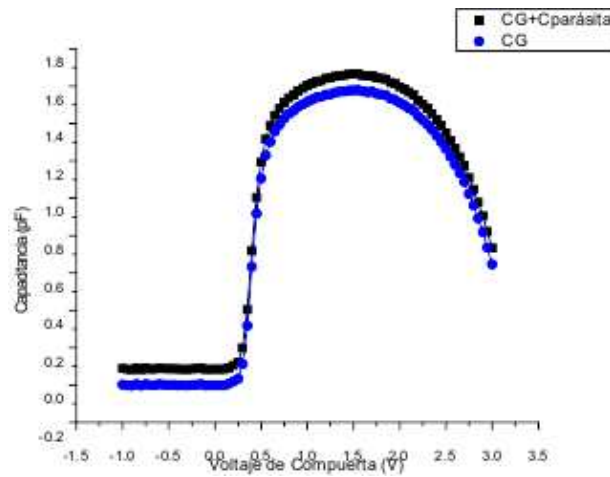


Figura 3: C-V-nMOS- 10x10 μm<sup>2</sup>- SiON

$$EOT = \left( \frac{\epsilon_{OX}}{\epsilon_{alto-k}} \right) t_{alto-k} \quad (4)$$

Utilizando la ecuación (5), se puede obtener un valor aproximado de EOT del dispositivo bajo análisis.

$$EOT = \left( \frac{\epsilon_{OX}}{C_{inv}} \right) \approx t_{inv} - 0,4nm \quad (5)$$

En la obtención de este parámetro se utiliza un software de simulación para comprobar la aproximación de EOT de los resultados experimentales; el software a utilizarse es el presentado por J.R. Hauser y K. Ahmed [6]. Este programa toma como datos de entrada la curva C-V del MOSFET. Utilizando un algoritmo no lineal de mínimos cuadrados realiza cálculos con consideraciones de efectos físicos de mecánica cuántica para hallar los parámetros del transistor, entre ellos EOT.

**Característica I-V:** la curva  $I_D-V_{GS}$  para los MOSFET SOI FD utilizados permite obtener la característica de transconductancia ( $g_m$ ) del transistor para el mismo rango de voltaje.

$$g_m = \frac{\Delta I_{out}}{\Delta V_{in}} \rightarrow g_m = \frac{dI_D}{dV_{GS}} [S] \quad (6)$$

Para obtener el valor del voltaje umbral ( $V_T$ ), se aplica el método del pico de la transconductancia ( $g_{m,max}$ ) y una extrapolación lineal, ver Fig. 2. Dado que para esta caracterización se utiliza un valor bajo de corriente de drenaje, la resistencia en serie es usualmente despreciable y se puede aplicar el método con tranquilidad.

En este método  $g_{m,max}$  es el valor máximo de la curva  $dI_D/dV_{GS}$  y se lo utiliza para hallar el punto de inflexión de la curva  $I_D-V_{GS}$  para la región triodo de operación (es decir con  $V_D$  bajo), que es cuando se obtiene el valor máximo de transconductancia. En este punto se grafica una tangente a la curva  $I_D-V_{GS}$ , y el lugar de intersección de la tangente con el eje x, es decir  $I_D=0$ , indica el valor extrapolado de  $V_T$ . Sin embargo, hay que introducir una corrección ya que la corriente del drenaje no es exactamente cero por debajo de  $V_T$  y se acerca al eje x sólo de manera asintótica. Por tanto, el valor extrapolado en la intersección de la curva  $I_D-V_{GS}$  es  $V_{GSi}$  y permite hallar el valor de  $V_T$  de acuerdo a la ecuación (7) [5].

$$V_T = V_{GSi} - V_{DS}/2[V] \quad (7)$$

### Resultados y Discusión

#### Extracción de $C_{inv}$ , $t_{inv}$ y EOT

Para la extracción de los parámetros deseados se elaboraron gráficos de datos  $C_G - V_G$  (Fig. 3 y Fig. 4).

Para realizar las mediciones del MOSFET se colocó S y D en corto circuito, se aplicó un voltaje de cuerpo  $V_B = 0 V$  y se emitió una señal de Frecuencia = 500 kHz en G. Con ello la medición obtenida entre G y el canal fue  $C_G+C_{parásita}$ . Para hallar sólo  $C_G$ , se resta el desplazamiento vertical por sobre el eje x de la curva, este desplazamiento corresponde a  $C_{parásita}$ .

Para hallar  $C_{inv}$  se extrae el valor máximo de  $C_G$  y para la extracción de los parámetros  $t_{inv}$  y EOT se utilizaron las ecuaciones (2) y (5).

Los resultados son presentados en la Tabla 1

Tipo Dieléctrico	$C_{parásita}$ pF	$C_{inv}$ pF	$t_{inv}$ nm	EOT nm
Alto k	0.083	2.772	1.246	0.846
SiON	0.086	1.579	2.187	1.787

Tabla 1:  $C_{inv}$ ,  $t_{inv}$ , EOT

#### Extracción de $V_t$ y $g_m$

Para la extracción de  $V_T$  se aplicó el método de  $g_{m,max}$  y una extrapolación lineal, como en la Fig. 2, y se realizó la corrección del valor extrapolado acorde a la ecuación (7).

Los datos correspondientes a  $I_{DS}-V_G$  fueron tomados aplicando  $V_S=0 V$ ,  $V_D=50 mV$  y considerando la ecuación (8).

$$I_{DS} = (I_D - I_S)/2[A] \quad (8)$$

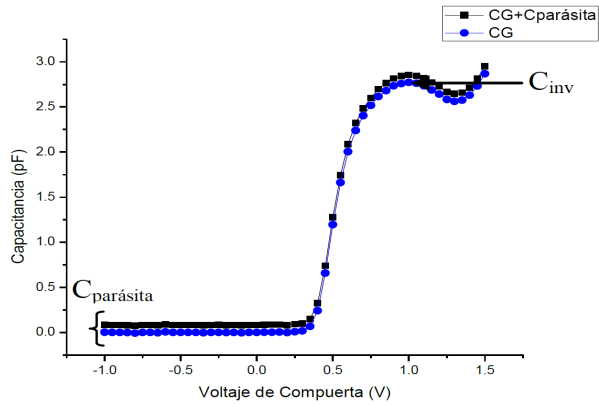


Figura 4: C-V-nMOS- 10x10 μm²- Alto k

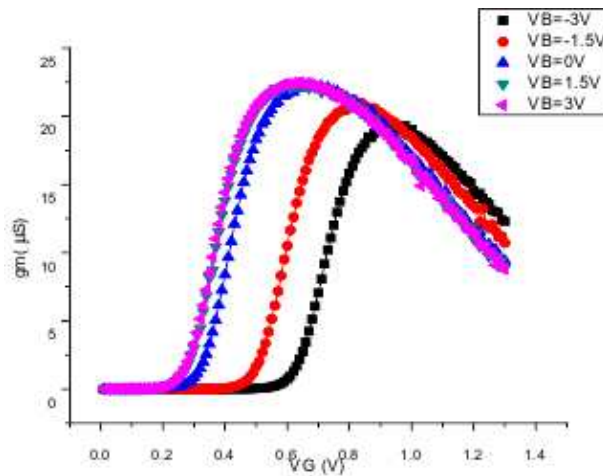


Figura 5: gm-VG-nMOS- 10x10 μm²- SiON

La Fig. 5 y la Fig. 6 muestran las curvas  $g_m-V_G$  acorde a la ecuación (6) para valores de  $V_B$  desde -3.0V a 3.0V con saltos de 1.5V.

Los resultados que se presentan en la Tabla 2 y la Fig. 7 muestran los valores de  $g_{m,max}$  para los diferentes valores de  $V_B$ . Y en la Tabla 3 junto a la Fig. 8 se muestra la relación entre los valores de  $V_T$  con los distintos valores de  $V_B$ .

Uno de los objetivos de la caracterización es comprobar si los dispositivos ultra delgados muestran un comportamiento consistente con la teoría y análisis documentados en literatura científica sobre los dispositivos SOI más gruesos.

**Característica C-V**

Se encuentra que la  $C_{parásita}$  es similar para ambos dieléctricos lo que hace pensar que la mayor parte de esta  $C_{parásita}$  viene dada por los contactos de los terminales y por el ruido en las mediciones.

Se observa que el valor de EOT para el dieléctrico de alto k es más pequeño que para el dieléctrico SiON. Este resultado es consistente con la teoría sobre los dieléctricos de mayor constante dieléctrica, pues su objetivo es

	SiON	Alto k
VB(V)	$g_{m,max}$ (μS)	$g_{m,max}$ (μS)
-3.0	19.77	19.37
-1.5	23.89	20.97
0.0	26.40	22.37
1.5	27.28	22.48
3.0	30.88	22.51

Tabla 2:  $g_{m,max}$ -nMOS- 10x10 μm²

proporcionar un EOT más bajo que su espesor físico real ya que con estos materiales el transistor sufre de menos fuga de corriente [7].

**Característica I-V**

El método del pico de la transconductancia con una extrapolación lineal para obtener el valor de  $V_T$  no presentó ninguna complicación y se pudo aplicar precisamente como lo explica la teoría [5].

En la Tabla 2 y en la Fig. 7 se puede observar que para los dispositivos con dieléctrico SiON los valores de  $g_{m,max}$  siempre son mayores que para los de dieléctrico de alto k:  $g_{m,max} SiON > g_{m,max} alto - k$ . Como  $g_m \propto \mu C_{inv}$  (misma dimensión y polaridad que D) donde  $\mu$  es la movilidad efectiva de portadores, y  $C_{inv} SiON < C_{inv} alto - k$ , entonces  $\mu_{SiON} > \mu_{alto-k}$ .

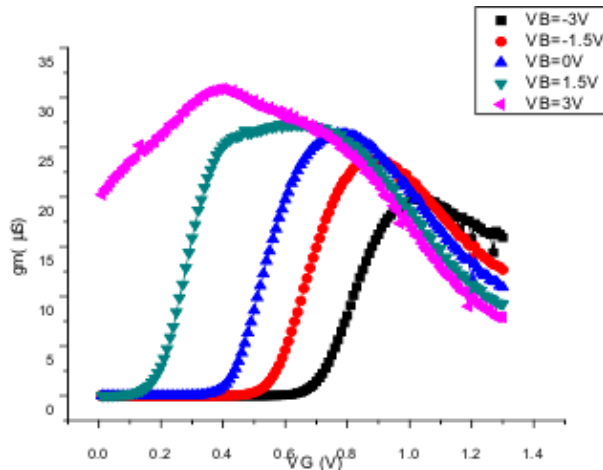
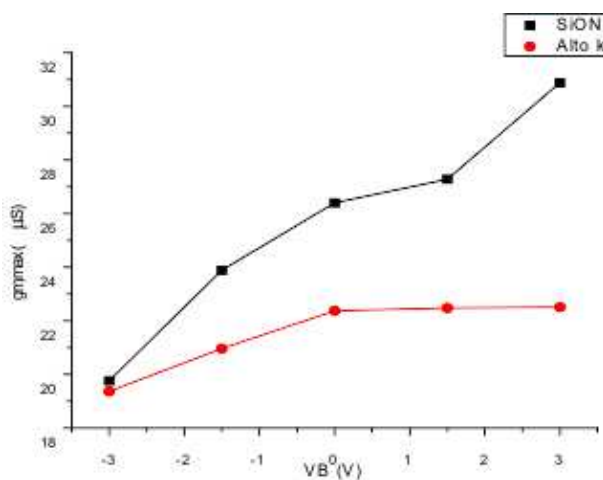
Esto se debe a que los materiales de alto k tienen una mayor cantidad de defectos en el material y por ello se producen mayor cantidad de colisiones Coulómbicas de manera remota que en materiales como el SiON o el SiO<sub>2</sub> [8]. Esto causa que la movilidad de los MOS-FET con estos materiales aumente y es lógico pensar que se alcanza un mayor  $g_{m,max}$  cuando  $\mu$  también ha aumentado [9]. Esto en conceptos físicos significa que el transistor maximiza su entrega de corriente a la salida cuando el canal ha alcanzado la mayor cantidad de portadores moviéndose a mayor velocidad a través de su red cristalina.

En la misma Fig. 7 se observa una característica lineal de  $g_{m,max}$  con  $V_B$  debido a que en estos dispositivos con espesor muy delgado de BOX, el sustrato de cuerpo actúa como si fuese una segunda compuerta o back gate y activa un canal que posee mayor  $\mu_{eff}$  porque el BOX es SiO<sub>2</sub>. Este resultado es consistente con los resultados obtenidos por simulación [10].

La Tabla 3 y la Fig. 8 también muestran una relación lineal entre  $V_T$  y  $V_B$ . La variación de  $V_T$  se debe a un acoplamiento del potencial de superficie entre el back gate y G, resultado consistente con la literatura científica [11].

	SiON	Alto k
VB(V)	$V_T$ (V)	$V_T$ (V)
-3.0	0.699	0.789
-1.5	0.575	0.644
0.0	0.399	0.513
1.5	0.354	0.260
3.0	0.348	-

Tabla 3:  $V_T$ -nMOS- 10x10 μm²

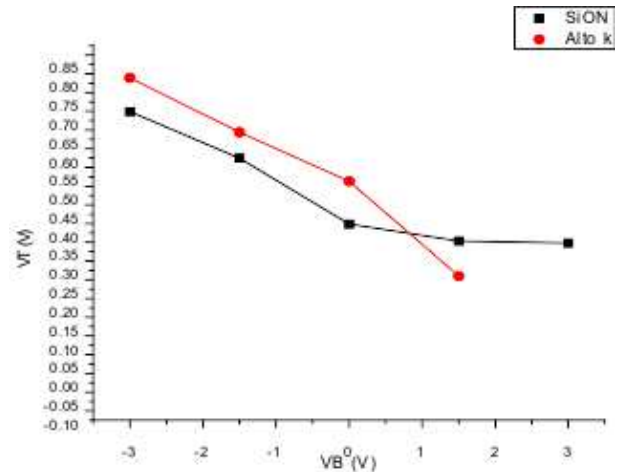
Figura 6:  $g_m$ - $V_G$ - nMOS0-  $10 \times 10 \mu m^2$ - Alto kFigura 7:  $g_{m,max}$ - $V_B$ - nMOS-  $10 \times 10 \mu m^2$ 

### Conclusiones

Los valores de espesor equivalente de óxido (EOT) de los dispositivos con SiON y  $HfO_2$  han sido extraídos experimentalmente con mediciones C-V y se han incluido correcciones cuánticas en su cálculo. Se ha obtenido una buena concordancia con los EOT encontrados por simulación.

Los valores de voltaje umbral ( $V_T$ ) en función del voltaje de cuerpo SOI ( $V_B$ ) han sido extraídos experimentalmente con mediciones ID-VG. Una dependencia lineal ha sido encontrada en buena concordancia con la teoría para dispositivos de bajo espesor de Óxido Enterrado (BOX).

Los valores de transconductancia ( $g_m$ ) en dispositivos con SiON y  $HfO_2$  han sido extraídos experimentalmente con mediciones ID-VG. Valores menores de  $g_{m,max}$  han sido obtenidos para MOSFET con dieléctrico  $HfO_2$  debido a una menor movilidad. Esta menor movilidad es causada por una alta cantidad de colisiones Coulómbicas originadas por la densidad de defectos en el dieléctrico, que en el caso del  $HfO_2$  es mayor que en el SiON.

Figura 8:  $V_T$ - $V_B$ - nMOS-  $10 \times 10 \mu m^2$ 

### Agradecimientos

Al consorcio IMEC, a través del convenio IMEC-USFQ, por habernos provisto de las muestras analizadas.

A la USFQ por el esfuerzo emprendido en el área de la nanotecnología y por el acceso a los nuevos laboratorios donde se pudo realizar esta investigación, la primera tesis en nanotecnología del Ecuador.

### Referencias

- [1] Sze, S.M.; Kwok, K.N. 2007. "Physics of Semiconductor Devices." Wiley: Hoboken, NJ
- [2] Colinge, J., Colinge, C. A. 2005. "Physics of Semiconductor Devices." Kluwer Academic Publishers: New York, NY.
- [3] Trojman, L. 2011. "Principio de funcionamiento del mosfet y scaling." Universidad San Francisco de Quito, Disertación. Quito, Ecuador.
- [4] Crupi, F. 2012. "Nanodevices for Logic and Memory Applications." Universidad San Francisco de Quito, Disertación. Quito, Ecuador.
- [5] Schroeder, D. 2006. "Semiconductor Material and Device Characterization." Wiley: Hoboken, NJ.
- [6] Hauser, J. R.; Ahmed, K. 1998. "Characterization of Ultra-Thin Oxides Using Electrical C-V and I-V Measurement." Characterization and Metrology for ULSI Technology. AIP Conf. Proc. 449: 235-239.
- [7] Doering R., Nishi, Y. 2008. "Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology." CRC Press: Boca Raton, FL.
- [8] Takagi, S. 1994. "On the Universality of Inversion Layer Mobility in Si mosfet's: Part I - Effects of Substrate Impurity Concentration." *IEEE Transactions on Electron Devices* 41(12): 2357-2362.
- [9] Ragnarsson, L.A.; Pantisano, L.; Kaushik, V.; Saito, S.I.; Shimamoto, Y.; DeGendt, S.; Heyns, M. 2004. "The impact of Sub Monolayers of HFO2 on the Device Performance of High-k Based Transistors [mosfets]." *IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM)*. 4.2.1-4.2.4.

- [10] Bustamante, J.; Trojman, L. 2012. "Ultra-thin Depleted Silicon on Insulator mosfet: A Simulation Based on COMSOL Multiphysics." *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 4(1): C42-C45.
- [11] Lim, H.K.; Fossum, J. 1983. "Threshold Voltage of Thin-Film Silicon-on-Insulator (SOI) mosfet's." *IEEE Transactions on Electron Devices*. ED-30(10): 1244-1251.



## Multiniveles más Exitosos: Análisis para la Toma Eficiente de Decisiones Iniciales

José Luis Ochoa Delgado\*

*Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías –El Politécnico–  
Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador  
Autor Principal/Corresponding Author E-mail: joseluisochoadelgado@gmail.com*

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 09/25/2012. Aceptado/Accepted: 11/20/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

Currently the multilevel networks have had an enormous growing inside the global market, so it is important to have the ability for choosing the optimal decisions. In this paper, a local multilevel network has been studied with the aim to establish the best strategic decisions for maximizing its profits. The modeling with systems dynamics and the analysis with design of experiments let us to determine that the most efficient strategies, for this network, are: Invest more resources to find new customers instead of attaching new affiliates, and establish a big initial investment in some of the principal products to commercialize.

**Keywords.** Multilevel network, MLM, systems dynamics, design of experiments, math modeling.

### Resumen

En la actualidad las redes de multinivel han presenciado un crecimiento enorme dentro del mercado mundial por lo que resulta importante poder tomar decisiones óptimas. En este artículo se realiza el estudio de una red multinivel con el objetivo de establecer decisiones estratégicas adecuadas para la maximización de las ganancias. Utilizando el modelado matemático de la dinámica de sistemas y el diseño de experimento se determinó que las decisiones estratégicas más eficientes son: Impulsar el crecimiento de la cartera de clientes sobre la red descendente de asociados y la de establecer una inversión inicial elevada en algunos de los principales productos a comercializarse.

**Palabras Clave.** Red multinivel, MLM, dinámica de sistemas, diseño de experimentos, modelado matemático.

### Introducción

El Marketing Multinivel es en un moderno sistema de comercialización de productos o servicios en el cual un vendedor se beneficia de la venta directa, así como del patrocinio de una red descendente de distribuidores asociados [1]. Dado que no existe ningún requisito previo para ser comerciante independiente de una red multinivel, estos sistemas se han convertido en una opción laboral accesible para varias personas. Es por esto que actualmente existe en el mercado una abundante proliferación de compañías relacionadas al multinivel, como Nikken, OrganoGold, WinaLite, Amway, entre otras.

Con el auge de estos sistemas de comercialización se han desarrollado e implementado diversas teorías como las del Diamante de Competitividad de Porter, E-Generation de Timmons, entre otras [2]; todas ellas con el fin de optimizar los recursos y obtener mayores ganancias al conformar la red multinivel. Sin embargo, to-

das estas teorías se basan en conocimientos empíricos del sistema.

Una red de multinivel es un sistema complejo y dinámico el cual consta de vendedores asociados, patrocinadores, clientes, productos, sistemas de bonificaciones, rangos, tiempos y un sinnúmero de componentes más; los cuales muchas veces impiden tener los mejores resultados al utilizar herramientas empíricas para la toma de decisiones estratégicas.

Con el fin de complementar a las herramientas empíricas actuales, en este trabajo se presenta el uso de técnicas matemáticas más formales y sofisticadas, como la dinámica de sistemas y el diseño de experimentos, para facilitar la toma de decisiones estratégicas de forma eficiente dentro de un multinivel.

Por una parte, la dinámica de sistemas es una metodología que permite abordar el análisis de sistemas complejos que presentan retroalimentación [3]. Mientras que

ISSN 1390-5384





por otra, el diseño de experimentos permite estadísticamente determinar qué factores son los que influyen críticamente en el comportamiento de una variable [4] de estado del sistema.

Es por esto que inicialmente se busca crear un modelo de dinámica de sistemas para un multinivel<sup>1</sup> presente en el mercado ecuatoriano. Para posteriormente identificar los parámetros estratégicos claves, así como sus valores óptimos que contribuyan a tomar decisiones estratégicas eficientes optimizando los recursos disponibles.

## Metodología

### Modelo de Dinámica de Sistemas

Como punto de partida se trabajó con miembros de un multinivel<sup>1</sup>, el cual lleva comercializando café, en distintas presentaciones, por un período de 2 meses en el mercado nacional. Durante este tiempo, se recopiló la información necesaria para construir un modelo de dinámica de sistemas que permita emular, con un alto grado de confiabilidad, el comportamiento de la red multinivel durante el próximo año.

En base a los datos históricos de los 2 primeros meses de funcionamiento de la red, se elaboró un modelo final, el cual se compone de 6 sub modelos interrelacionados entre sí que son:

1. Crecimiento de la Red
2. Dinámica de Asociados
3. Dinámica de Clientes
4. Inventario
5. Ganancias por Ventas Directas
6. Ganancias por Red de Asociados

**Crecimiento de la Red** En este sub modelo se simula el mecanismo mediante el cual un miembro de la red contacta a otras personas con el fin de introducir las a su red como asociados<sup>2</sup> al negocio o como clientes del producto que se comercializa.

Para la elaboración del modelo se establece el diagrama causal (ver figura 3) y en base a los datos recogidos se establecieron los siguientes parámetros y condiciones:

- El 30 % de las personas conocidas recomiendan a otras personas.

<sup>1</sup>Por políticas internas de confidencialidad de la compañía no se puede publicar el nombre de la empresa a la cual la red multinivel pertenece

<sup>2</sup>Un Asociado es una persona interesada a formar parte de la red multinivel y comercializar los productos. Cada asociado es patrocinado por un miembro activo de la organización.

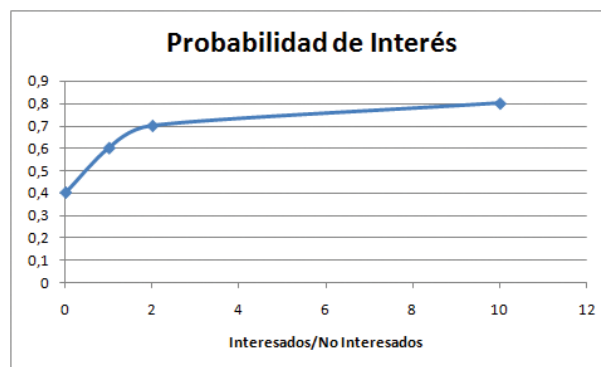


Figura 1: Probabilidad de que una persona entrevistada se interese en el producto o negocio

- Se requiere como mínimo 20 minutos para conocer a una nueva persona y 45 minutos para entrevistarla y hablarle del producto o multinivel.
- Se requiere de 30 minutos para formar un nuevo cliente y 120 minutos para formar un nuevo asociado.
- La probabilidad de que una persona entrevistada se interese en el producto o negocio varía acorde las tendencias del mercado, es decir que depende de la razón entre el número de interesados vs el número de personas no interesadas. Según datos históricos dicha probabilidad se comporta acorde la siguiente figura:
- El 34 % de los interesados se vuelven asociados, mientras que el 66 % de los interesados se convierten en clientes, de los cuales el 12 % decide no volver a comprar el producto.
- Se requiere de 5 minutos por cliente y por semana para recolectar pedidos de clientes antiguos. El 83 % de los clientes no atendidos no vuelven a comprar el producto.

Dentro de este sub modelo, el miembro de la red debe decidir el tiempo dedicado a: conocer nuevas personas, entrevistarlas, formar nuevos asociados, formar nuevos y atender a viejos clientes. Todos estos tiempos constituyen algunas de las decisiones estratégicas que se deben tomar dentro del multinivel.

**Dinámica de Asociados** En esta sección del modelo se contempla el comportamiento de los asociados dentro de la red. Para ello se ha clasificado a los asociados en 3 categorías distintas acorde el volumen personal de ventas y el número de asociados patrocinados (Tabla 1).

Tipo de Asociado	Volumen Ventas (\$ por semana)	Asociados en Red
A	200	4
B	100	2
C	500	0

Tabla 1: Clasificación de Asociados.

Teniendo en cuenta que los asociados pueden variar su calificación en el tiempo, se estableció en base a datos históricos:

- El 84 % de los nuevos asociados pertenecen a la categoría C, de los cuales el 45 % ascienden a categoría B. La tasa de deserción para esta categoría es del 55 % y los asociados requieren de al menos 30 minutos por semana.
- El 15 % de los nuevos asociados ingresan a la categoría B. El 50 % descienden a la categoría C mientras que el 15 % avanzan a la categoría A. La tasa de deserción se estableció en 38 % y los asociados requieren de al menos 10 minutos semanales.
- El 1 % de los nuevos asociados lograr calificar como tipo A, de los que el 43 % descienden a categoría B. La tasa de deserción es del 10 % y requieren de al menos 5 minutos por semana.

En base a estos datos se construyó el sub modelo pertinente como se lo puede observar en el diagrama causal de la figura 4. Dentro de este sub modelo el asociado principal debe decidir el tiempo que le brinda a cada uno de sus asociados considerando la efectividad y requerimientos de cada uno.

**Dinámica de Clientes e Inventario** En el sistema multinivel que se analizó, se comercializa café en 4 presentaciones distintas, Café Negro, Café Late, Café Moca y Chocolate. Se clasificó a los clientes según los productos que consumían (ver figura 5) obteniendo los siguientes resultados:

- El 58 % de los clientes compran café negro.
- El 37.5 % compran café late.
- El 45.83 % prefieren el café moca
- El 25 % de los clientes se inclinan por adquirir chocolate

Adicionalmente se determinó que el 65 % de los clientes que no sean abastecidos optan por no comprar nuevamente el producto. De esta manera en la figura 6 se presenta el diagrama causal que permite modelar la dinámica de clientes. Teniendo en cuenta los pedidos que se realizan por parte de los clientes, se modeló el sistema de inventarios con el que trabaja la red multinivel. Actualmente la política de inventario es la de realizar abastecimientos semanales según lo comercializado la semana anterior. El tiempo de delay es de 2 semanas y los clientes realizan la reposición de sus productos cada 4 semanas para el café negro y 2 semanas para los otros productos. En base a estos lineamientos se construye el modelo de inventario tal como se lo muestra en la figura 5.

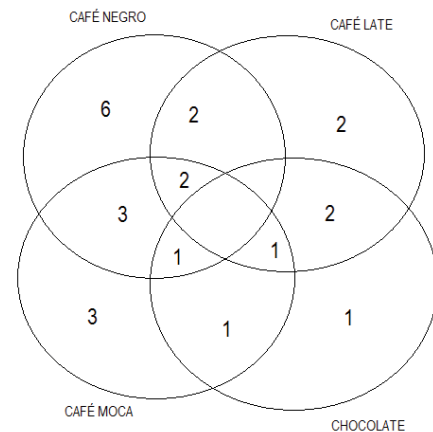


Figura 2: Diagrama de clasificación de persona por producto

El determinar la cantidad inicial (inversión primaria) de productos es una decisión estratégica a tomar dentro de este sub modelo, así como la política de inventario a manejar. Cabe recalcar que en este multinivel al igual que en otros la cantidad de productos que se compran permiten acceder a distintos tipos de bonificaciones, por lo que resulta importante determinar hasta qué punto es rentable invertir en mercadería para obtener beneficios de la red a futuro.

**Ganancias por Ventas Directas y de la Red de Asociados** Dentro del sistema de compensaciones que se establece dentro del multinivel existen dos ramas bien diferenciadas. La primera corresponde a las ganancias que el asociado obtiene al comercializar directamente el producto. Es decir, a la diferencia entre el precio de compra y el de venta. Mientras que la segunda forma de generar ingresos se da por la construcción y constitución de una red multinivel.

En el primer caso, se construyó un modelo que simule la ganancia por motivo de venta directa de los productos (ver figura 7). Dentro de este sub modelo se establece un tiempo máximo de 2 semanas para realizar el cobro a los clientes<sup>3</sup>

En el segundo sub modelo, se simuló las políticas de compensación que posee la compañía respecto a la constitución de la red multinivel. Dichas políticas son [5]:

- Bono por venta de ciertos paquetes de productos.
- Ganancia de la rama más corta de la red dual descendente.
- Ganancia de los distintos niveles que se patrocina.

Si bien la compañía tiene 4 bonos más, no se los considera en el modelo debido a que para acceder a ellos se requiere de un puntaje de ventas mayor al alcanzable en 1 año por los miembros de la red que se analizó.

<sup>3</sup>Por razones de privacidad no se publican en este artículo los precios de compra y de venta del producto.

Término	Efecto	Coficiente	Coficiente de EE	T	P
Constante		1,5392	0,1177	13,08	0,000
TNP	-0,5252	-0,2626	0,1177	-2,23	0,037
TE	-0,8853	-0,4427	0,1177	-3,76	0,001
TFC	-0,1125	-0,0563	0,1177	-0,48	0,638
TFA	-0,0231	-0,0115	0,1177	-0,10	0,923
TVC	-0,1315	-0,0657	0,1177	-0,56	0,582
TNA	0,0435	0,0217	0,1177	0,18	0,855
CN	0,6329	0,3165	0,1177	2,69	0,014
CM	0,6320	0,3160	0,1177	2,69	0,014
CL	0,5455	0,2728	0,1177	2,32	0,031
CH	0,4449	0,2225	0,1177	1,89	0,073

Tabla 2: Resultados de ANOVA

En base a todas estas consideraciones, se confeccionó el diagrama causal mostrado en la figura 8, el cual representa este sub modelo.

### Validación

Para validar el modelo se consideró la información histórica disponible sobre: el número de asociados, el número de clientes y la ganancia semanal acumulada y se obtuvieron errores en las predicciones del 11.12 %, 5.71 % y 21.83 % respectivamente para cada uno de los indicadores. Adicionalmente se puede observar en la figura 9 que las tendencias y comportamientos en los resultados reales y pronosticados son similares lo que avalla la validez del modelo propuesto.

### Diseño de Experimentos

Dentro de las decisiones estratégicas que el asociado principal debe tomar al momento de dirigir y coordinar las actividades de su red multinivel, se destacan: el tiempo asociado a cada actividad y la inversión inicial. Ambos recursos son limitados por lo que resulta prioritario determinar cuáles de ellos son los más significativos respecto al retorno sobre la inversión (ROI).

Se realizó inicialmente un diseño factorial 210 fraccionado a 1/32 con una sola réplica, donde los factores a evaluar fueron:

- Tiempo Formar Clientes (TFC)
- Tiempo Formar Asociados (TFA)
- Tiempo para Viejos Clientes (TVC)
- Tiempo para Viejos Asociados (TVA)
- Tiempo Dedicado en Conocer Nuevas Personas (TNP)
- Tiempo de Entrevista (TE)
- Paquetes iniciales de Café Negro (CN)
- Paquetes iniciales de Café Moca (CM)
- Paquetes iniciales de Café Late (CL)
- Paquetes iniciales de Chocolate (CH)

Los niveles para los factores del tiempo van de 2 a 10 horas por semana, ya que se considera que el asociado principal dispone como máximo de 60 horas laborales a la semana. Por otra parte los niveles para los paquetes iniciales van entre 5 y 20 paquetes lo que implica que el asociado requiere de una inversión inicial de entre \$485 y \$ 1940.

Finalmente se aplica el método de superficie de respuesta para determinar los niveles óptimos de los factores anteriormente mencionados.

### Resultados

Con una confiabilidad del 95 % se determinó que el Tiempo Dedicado a Conocer Nuevas Personas, el Tiempo de Entrevistas y la cantidad de Paquetes Iniciales de café negro, late y moca influyen significativamente en el Retorno sobre la Inversión (ver Tabla 2)

Sin embargo el incidir en el ROI no implica un éxito rotundo a nivel económico. Como se puede ver en la figura 10, para utilidades por semana de aproximadamente \$ 40 el ROI es superior al 100 %, mientras que para utilidades semanales promedio de \$ 200 dólares el ROI oscila entre el 40 % y 80 %.

Al realizar el método de superficie de respuesta (ver figura 11) se estableció que para obtener una máxima ganancia es necesario destinar el mayor tiempo posible (10 horas o más por semana) a conocer gente y entrevistarla. Ambas acciones son complementarias para el éxito del multinivel.

Por otra parte se determinó que se debe realizar la compra de 20 paquetes de café negro y moca. Mientras que para los paquetes de café late y chocolate se puede iniciar con un inventario máximo o nulo tal como se muestra en la figura 12.

Adicionalmente se pudo determinar que existe una alta correlación positiva entre el número de clientes y la utilidad semanal promedio (ver figura 13 y 14). Por lo que se ha decidido fijar los tiempos de entrevista y de conocer nuevas personas en 15 horas semanales; y comprar los paquetes iniciales según lo indicado. Posteriormente se analizaron cuáles de los factores restantes influyen en

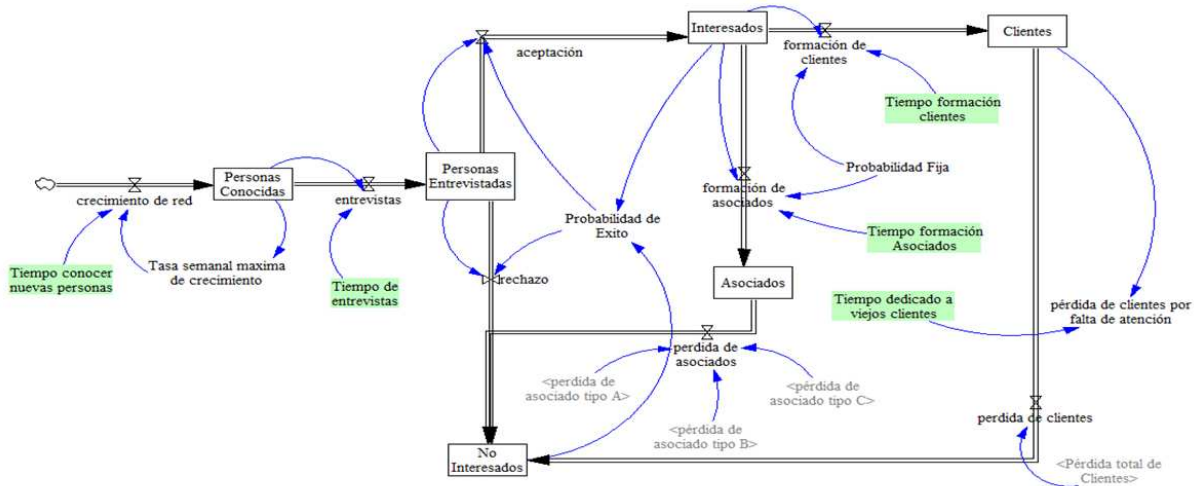


Figura 3: Diagrama Causal en el que se establecen todas las variables y parámetros a considerar en el sub modelo de Crecimiento de Red

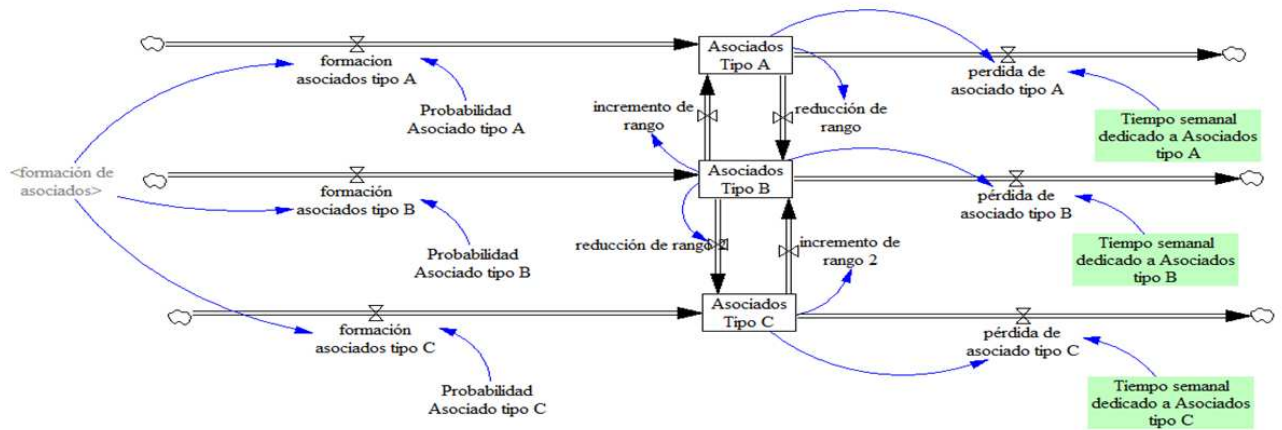


Figura 4: Diagrama Causal en el que se establecen todas las variables y parámetros para el sub modelo de Dinámica de Asociados

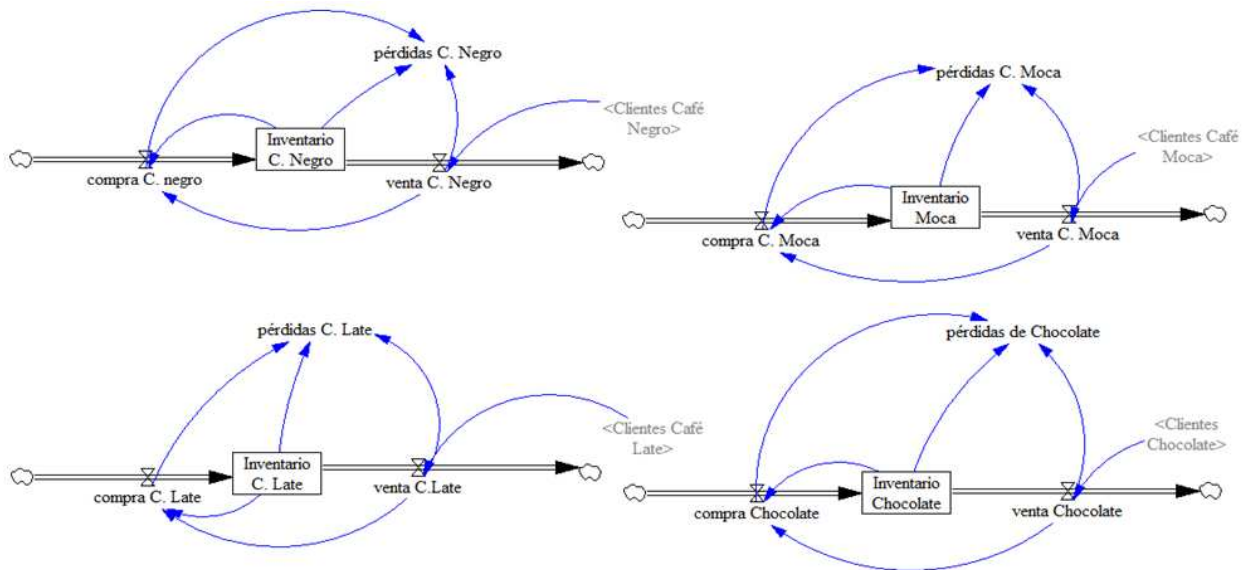


Figura 5: Diagrama Causal en el que se modela el sistema de Inventarios

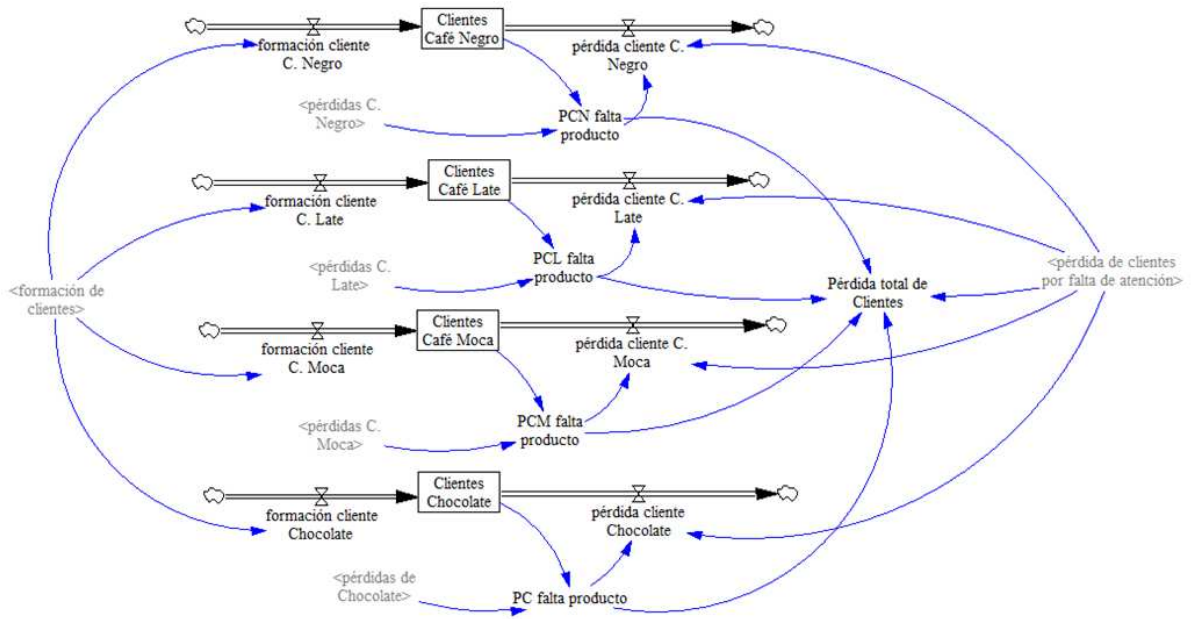


Figura 6: Diagrama Causal en el que se establecen todas las variables y parámetros para el sub modelo de Dinámica de Clientes

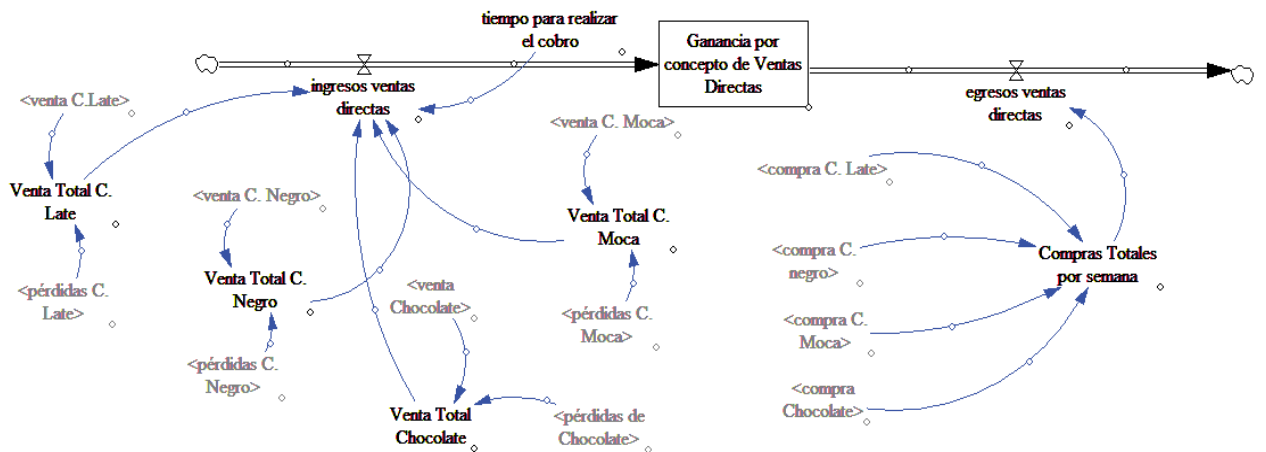


Figura 7: Diagrama Causal para el sub modelo de Ganancias por Ventas Directas

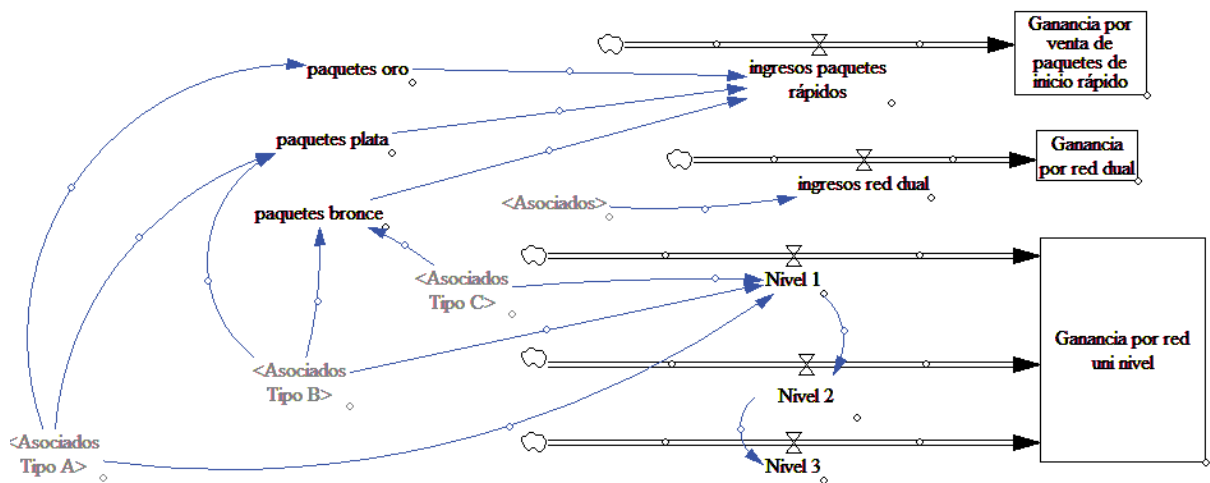


Figura 8: Diagrama Causal para el sub modelo de Ganancias por Concepto de Red



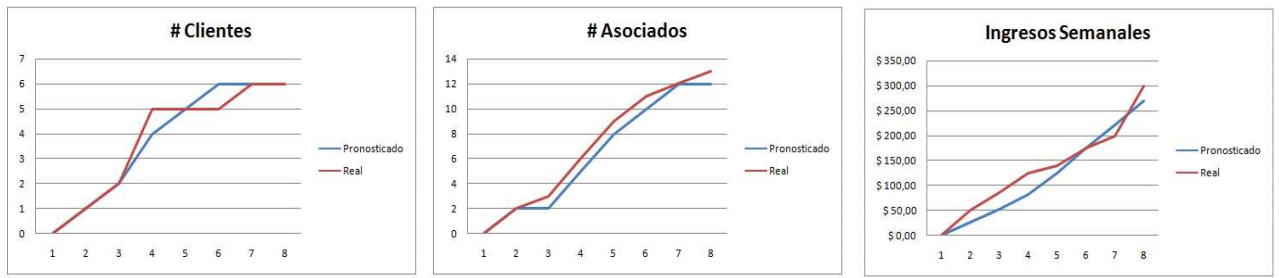


Figura 9: Comparación entre resultados pronosticados y datos históricos

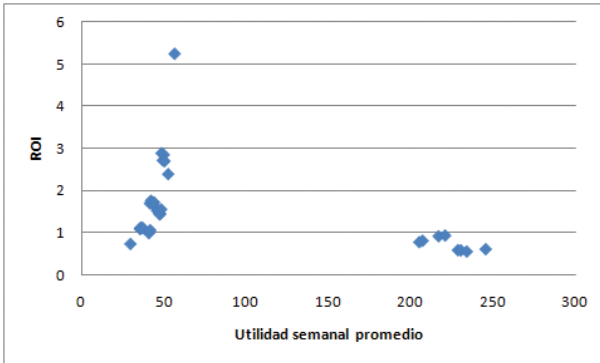


Figura 10: Diagrama de Dispersión entre ROI y Utilidad Semanal Promedio

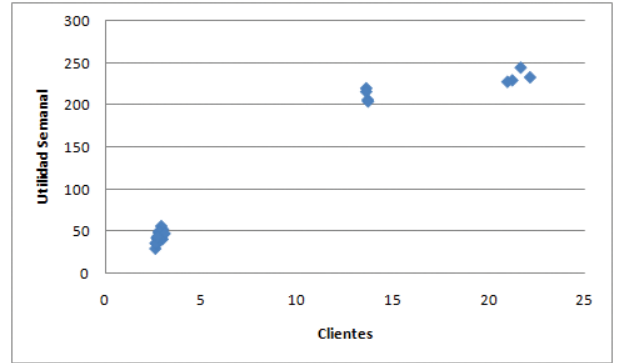


Figura 13: Diagrama de Dispersión entre Clientes y Utilidad Semanal Promedio

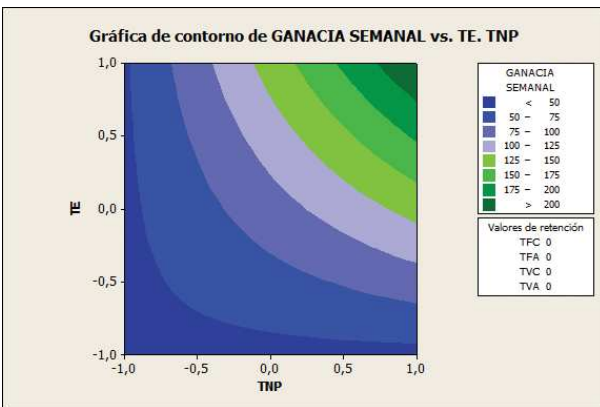


Figura 11: Contorno de la superficie de respuesta para Ganancia Semanal vs TE y TNP

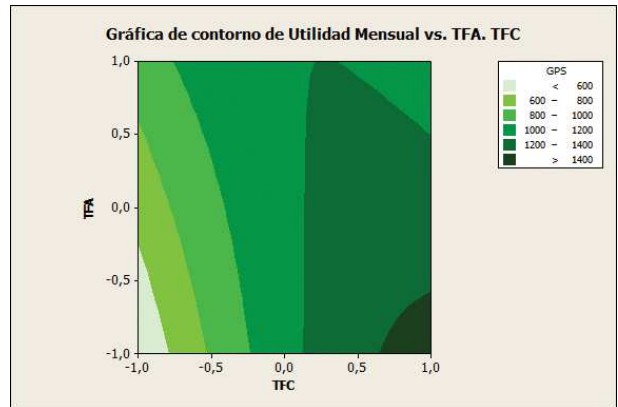


Figura 14: Contorno de la superficie de respuesta para Utilidad Mensual vs TFC y TFA

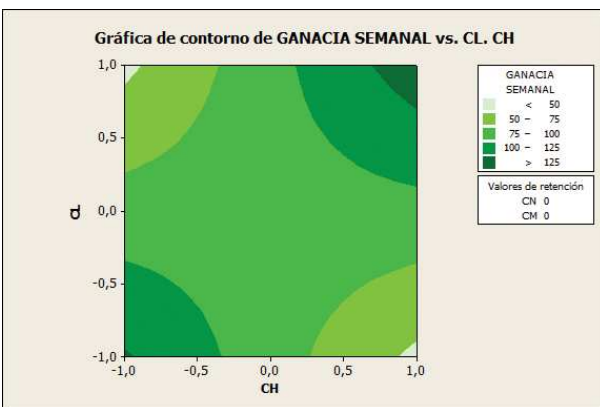


Figura 12: Contorno de la superficie de respuesta para Ganancia Semanal vs CL y CH

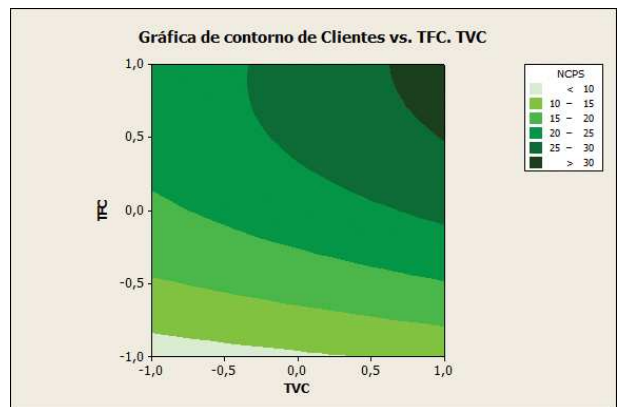
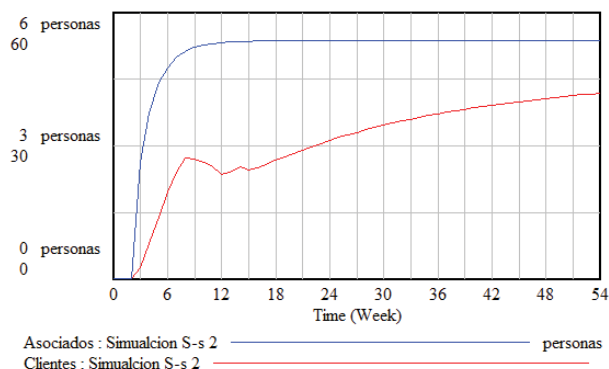


Figura 15: Contorno de la superficie de respuesta para Clientes vs TFC y TVC



**Figura 16: Resultados de la simulación para el número de clientes y asociados.**

la utilidad semanal media y en la cantidad de clientes y asociados del multinivel.

Se determinó que para maximizar el número de clientes es necesario dar más prioridad a la formación de clientes y una vez que se tenga una cartera amplia se debe incrementar el tiempo destinado a viejos clientes (Ver figura 15)

En base a estos resultados se puede conjeturar que la mejor estrategia para iniciar una red multinivel dentro de la compañía es:

- Destinar la mayor parte del tiempo (al menos 30 horas a la semana) a contactar gente con el fin de que se vuelva clientes del producto, ya que las ganancias por ventas directas son en un inicio de la red multinivel mayores que los beneficios económicos generados por la red.
- Se debe iniciar con un stock elevado de los productos principales que son el café negro y el moca (al menos 20 paquetes de cada uno).
- Una vez que la cartera de clientes sea considerable se puede destinar un mayor número de horas a visitar viejos clientes y estrechar las relaciones con ellos
- Durante el primer año de la red no es económicamente óptimo decidir ampliar la red y formar una gran cantidad de asociados

Corriendo el modelo con las decisiones estratégicas dadas se obtiene como resultados (ver gráfica 16) una ROI del 62 % con una utilidad quincenal promedio de \$359.86 y una cantidad promedio de 30 clientes en cartera y 5 asociados.

### Discusión

A partir de la construcción de un modelo dinámico para una red multinivel que comercializa café, se establecieron las decisiones estratégicas óptimas, para el primer año de funcionamiento, que permitan generar réditos económico máximos acorde las características del mercado, del producto y del comerciante.

Actualmente en el mercado nacional, muchas de las redes multiniveles utilizan una misma estrategia sin considerar las características del producto, las condiciones del mercado y las aptitudes de los comerciantes. Estos parámetros son fundamentales para determinar qué decisiones son las más adecuadas. En el caso del multinivel analizado, el café es un producto de consumo masivo, el cual se lo consume periódicamente. Razón por la cual la estrategia para el primer año de la red es la de maximizar la venta directa y no la formación de una red de asociados extensa y profunda. Sin embargo para otros productos, como purificadores de agua o de aire, la estrategia quizás deba ser diferente ya que el producto y el mercado responden de manera diferente.

A pesar de lo distintas que sean las diferentes redes multinivel, los factores asociados a las decisiones estratégicas que se deben tomar siguen siendo iguales. En todos los multiniveles se requiere de establecer el enfoque de la red (destinada a formar clientes o asociados o mixta) mediante la administración del tiempo semanal disponible. Mientras que las políticas de inventario se relacionan con la inversión inicial, tiempo de recuperación y crecimiento de la red.

Debido a estas similitudes el modelo de dinámica de sistemas propuesto, resulta en gran parte un modelo genérico y adaptable a otras redes multinivel. Además se lo puede mejorar considerando las ganancias extras que los asociados obtienen al alcanzar rangos elevados dentro de la red en el largo plazo.

### Conclusiones

Se logró construir un modelo matemático que represente el funcionamiento de los primeros años de una red multinivel considerando las características propias del mercado, del producto a comercializarse (café) y del asociado.

Se determinó, mediante el diseño de experimentos, que para obtener resultados económicos óptimos en la red multinivel es necesario destinar la mayor cantidad del tiempo a conocer personas con el fin de que se vuelvan clientes y generen réditos por medio de la venta directa. Adicionalmente el manejo del inventario es clave y se debe iniciar con la compra de paquetes de café negro y moca.

### Referencias

- [1] García, M. 2004. "Marketing multinivel." Madrid: ESIC.
- [2] Sánchez, J. 2010. "El Multinivel como Estrategia en la Creación de Empresa en Colombia". Tesis de grado publicada. Universidad EAN, Bogotá, Colombia.
- [3] Sterman, J. 2000. "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World". McGraw-Hill: Boston, MS.
- [4] Montgomery, D. 2007. "Diseño y análisis de experimentos". Limusa Wiley: México, México.
- [5] OrganoGold 2012. Plan de compensación.



## Diseño, Modelamiento, Simulación e Implementación de un Sistema de Levitación Magnética (Maglev) con un Grado de Libertad

Bernard Herrera<sup>1\*</sup>, Marcos Guevara<sup>2</sup>

*Colegio de Ciencias e Ingeniería –El Politécnico– Universidad San Francisco de Quito*

*Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador.*

*Autor principal/Corresponding author E-mail: bernardherrera@gmail.com*

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 11/21/2012. Aceptado/Accepted: 12/06/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

In the present work, a magnetic levitation system (maglev) with one degree of freedom (vertical) is designed, simulated and implemented physically. A simplified linear model is first obtained which describes the system. From this model, linear controllers are designed using traditional control methods. The effectiveness of these controllers to stabilize the system and their performance parameters are tested by simulation. The proposed models are also validated experimentally. Regarding implementation, an electromagnet is used, whose current flow is controlled to levitate a disk in which a permanent magnet is inserted. The current control is performed using the PWM (Pulse Width Modulation) technique. An infrared optical position sensor and a current sensor are constructed to measure these variables in the system. The control algorithms are implemented in a microcontroller optimized for signal processing (dsPIC). Due to the digital implementation of the controllers, the influence of sampling and processing times on the performance and stability of the system is discussed. Stabilization of the disc for small variations around an equilibrium point within the range of 3 to 8 cm from the magnet is achieved. Finally, the considerations necessary to achieve dynamic control within the range (for variable positions) including non-linear control strategies are discussed.

**Keywords.** Magnetic levitation, maglev, IR distance sensor, current sensor, dsPIC30F4013, PWM, digital control.

### Resumen

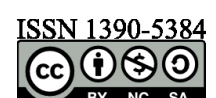
En el presente trabajo se diseña, simula e implementa físicamente un sistema de levitación magnética (maglev) con un grado de libertad (vertical). Se deduce teóricamente un modelo simplificado lineal que modela al sistema, a partir del cual se diseñan controladores lineales mediante métodos tradicionales de control. Se prueba la efectividad para estabilizar al sistema y los parámetros de desempeño de dichos controladores mediante simulación. Los modelos propuestos además se validan experimentalmente. En cuanto a la implementación, se utiliza un electroimán, cuya corriente se controla para levantar un disco en el cual se inserta un imán permanente. El control de la corriente se realiza mediante la técnica PWM (Pulse Width Modulation). Se implementa un sensor óptico infrarrojo de posición y un sensor de corriente para medir dichas variables en el sistema. Los algoritmos de control se implementan en un microcontrolador optimizado para instrucciones de procesamiento de señales dsPIC. Debido a la implementación digital de los controladores se discute ampliamente la influencia del tiempo de muestreo y de procesamiento sobre el desempeño y estabilidad del sistema. Se logra estabilización del disco para pequeñas variaciones alrededor de un punto de equilibrio dentro del rango de 3 a 8 cm desde el electroimán. Finalmente, se discuten las consideraciones necesarias para lograr un control dinámico dentro del rango (para posiciones variables) incluyendo estrategias de control no lineal.

**Palabras Clave.** Levitación magnética, maglev, sensor de distancia IR, sensor de corriente, dsPIC30F4013, PWM, control digital.

### Introducción

En el presente trabajo se modela, simula e implementa un sistema de levitación magnética (maglev) con un grado de libertad. La idea básica del sistema es hacer

flotar en el aire (levantar) a un objeto que tiene un imán permanente dentro de él, mediante la fuerza electromagnética generada por un electroimán que se encuentra fijo encima de éste.



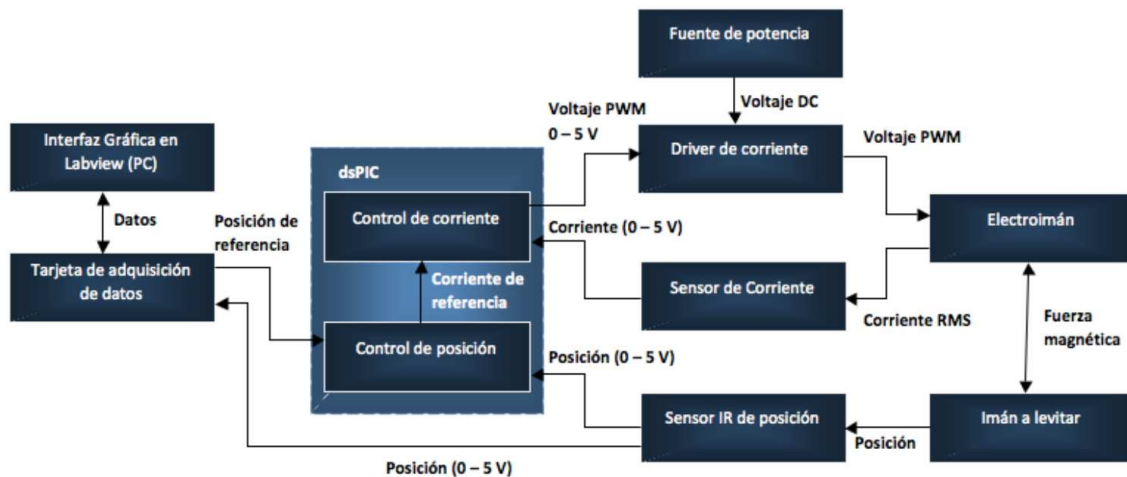


Figura 1: Diagrama general de los elementos del sistema y su interconexión

A diferencia de la mayoría de trabajos anteriores como [1, 2, 3, 4], en los cuales el objeto levita muy cerca del electroimán (normalmente a distancias de medio centímetro y llegando a un máximo de tres centímetros), el sistema descrito en el presente trabajo se diseña para operar en un rango más amplio (hasta una distancia de 10 cm al electroimán).

La planta a controlar es un disco de poliestireno dentro del cual se encuentra un imán permanente que se pretende hacer levitar mediante un electroimán. Al pasar una corriente por el electroimán, se induce un campo magnético en éste, el cual crea una fuerza magnética de atracción entre el disco y el electroimán. Dicha fuerza pretende compensar a la fuerza de gravedad. La fuerza magnética ejercida sobre el imán depende de la corriente que circula por el electroimán. Otros factores que intervienen en la planta incluyen la masa y forma del objeto, la intensidad del campo magnético del imán permanente y la forma del electroimán (la cual determina la distribución del campo magnético generado).

Se utiliza control por realimentación para estabilizar al disco en el aire. El elemento encargado del procesamiento es un microcontrolador optimizado para procesamiento digital de señales dsPIC30F4013. Recibe las señales de los sensores, las procesa y envía señales de control dinámicas a los actuadores con el objetivo de controlar la corriente en la bobina del electroimán y la posición del disco.

Se dispone de un circuito driver de corriente que regula dicha variable. Éste sirve como conexión entre la señal de control que viene del procesador y la parte de potencia del sistema. El valor promedio de la corriente se controla mediante la técnica de PWM (Pulse-Width Modulation). Los sensores son: un sensor de la corriente que circula por la bobina y un sensor de posición del disco a levitar. Son transductores de los valores de corriente y de posición a un voltaje que puede interpretarse por la unidad de procesamiento.

Finalmente, se tiene una interfaz con el usuario para visualizar las variables del sistema y para cambiar la referencia de posición a la que se desea que esté el disco. Para esto se usa una computadora con el software LabView y una tarjeta de adquisición de datos para transformar las señales eléctricas del sistema en valores compatibles con la computadora y viceversa.

## Métodología

### Modelamiento matemático del sistema

En el presente trabajo se describe un modelo matemático para el sistema, el cual es simplificado, es lineal y modela al sistema adecuadamente sólo para pequeñas oscilaciones alrededor de un punto de equilibrio. Es suficiente para estabilizar al disco en una posición fija.

Existe otro modelo completo, el cual es no lineal y más complejo e incluye más variables del sistema, lo que permite que sea válido para describir al sistema en cualquier punto de operación. Sin embargo, la complejidad de dicho modelo y la necesidad del uso de esquemas de control no lineales fueron razones para no escogerlo en la presente implementación. El modelo completo se describe en [2]. Una variación similar se encuentra en [5] y otra variación para un sistema maglev con dos grados de libertad se describe en [4].

### Ecuaciones eléctricas del electroimán

El electroimán está construido por cable de cobre enrollado alrededor de un núcleo de hierro. El cable tiene una resistencia al paso de corriente que depende de su longitud y sección transversal. Además, el cable enrollado como solenoide se comporta como un inductor al generar un campo magnético en su interior.

De éste modo, el modelo eléctrico más simple del electroimán, para caracterizar la respuesta de corriente al

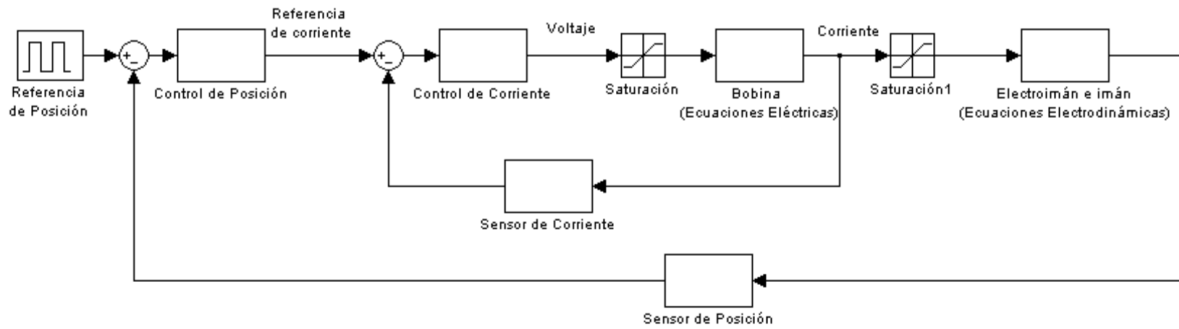


Figura 2: Esquema de control del sistema maglev completo

voltaje aplicado, es un circuito RL, modelado por la ecuación (1) a partir de la cual se obtiene la función de transferencia (2) mediante la transformada de Laplace:

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{I(s)}{V(s)} = \frac{1}{R + Ls} \quad (2)$$

donde V es el voltaje en la bobina del electroimán, i es la corriente que circula por éste, R es su resistencia y L su inductancia.

### Ecuaciones electromagnéticas del sistema

Para caracterizar la fuerza magnética que ejerce el electroimán sobre el imán que levita, se utilizó el siguiente modelo empírico usado también en varios trabajos relacionados como [1] y [5]:

$$f_m = C \frac{i^2}{x^2} \quad (3)$$

donde C es una constante, llamada la constante del electroimán y x es la distancia del electroimán al disco.

La constante C depende de la forma del núcleo del electroimán, del número de vueltas del bobinado del y de la forma e intensidad del campo magnético de los imanes permanentes dentro del disco. Para validar experimentalmente éste modelo empírico, se realizaron mediciones de pares de corriente en el electroimán y posición del disco para los cuales el disco está a punto de elevarse. Es decir, se fija al disco a cierta distancia del electroimán y se aumenta la corriente hasta que el disco esté a punto de elevarse y se repite éste procedimiento para varias posiciones. Éstos valores se conocen como corriente de equilibrio ( $i_0$ ) y posición de equilibrio ( $x_0$ ), debido a que son puntos de equilibrio inestable en los cuales la fuerza magnética equipara a la de gravedad debida a la masa del disco.

De los experimentos mencionados se concluye que la constante C en realidad varía con respecto a la corriente de equilibrio (y con respecto a la posición de equilibrio correspondiente). Debido a la variación de C, la ecuación (3) sólo modela adecuadamente a la fuerza magnética para pequeñas variaciones alrededor del punto de equilibrio ( $x_0, i_0$ ).

### Ecuación dinámica y linealización

A partir de una sumatoria de fuerzas del sistema, se obtiene la siguiente ecuación dinámica para el sistema. Se desprecia la fuerza de arrastre viscoso del aire:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = mg - f_m \quad (4)$$

donde m es la masa del disco y g es la aceleración de la gravedad.

Linealizando  $f_m$  de la ecuación (3) mediante una aproximación de polinomio de Taylor de primer orden alrededor de un punto de equilibrio ( $x_0, i_0$ ), reemplazando éste resultado en (4) y aplicando la transformada de Laplace, se obtiene la función de transferencia del sistema linealizado:

$$\frac{X(s)}{I(s)} = \frac{-\frac{2Ci_0}{mx_0^2}}{s^2 - \frac{2Ci_0}{mx_0^3}} \quad (5)$$

### Diseño de controladores y simulación

Como se muestra en la figura 2, se utiliza un lazo para el control de la corriente en el electroimán y otro para el control de la posición del disco.

El control independiente de corriente se realiza para garantizar que la corriente tenga el valor deseado frente a perturbaciones que vienen de efectos como calentamiento en la bobina. Además, el controlador acelera el tiempo de respuesta de la corriente. Se utilizó un controlador discreto lineal para la corriente. En cuanto al control de posición, se utilizó un controlador PID (lineal), el cual logra estabilizar al sistema.

Para medir los efectos del tiempo de muestreo, debido a la implementación discreta de los controladores en el dsPIC, se realizaron simulaciones sin tomar éste tiempo en cuenta y otra en la cual se simula el tiempo de muestreo como un retardo. El efecto de un tiempo de muestreo insuficiente es claro, crea oscilaciones que pueden sacar al sistema de la zona lineal, desestabilizándolo de éste modo.

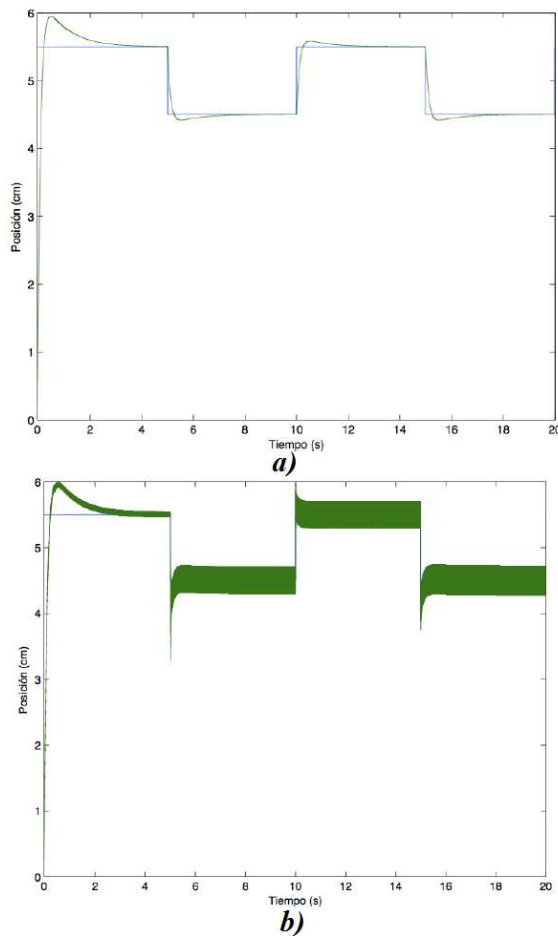


Figura 3: Simulaciones de la planta con controlador PID a) sin retardo (continuo) y b) con retardo (simula controlador discreto)

### Implementación

**Electroimán:** Se utilizó un electroimán con núcleo en forma de T de hierro laminado. El bobinado tiene 630 vueltas de alambre de cobre, una resistencia de 2.8 ohmios y una inductancia de 107.1 mH.

**Disco:** Se colocaron 3 imanes de neodimio (NIB) en el centro de un disco de poliestireno de 8 cm de diámetro. La masa total es de 22.6 g.

**Driver de corriente:** Se implementó un circuito driver de corriente basado en un MOSFET de potencia. El circuito básicamente conecta y desconecta la alimentación de potencia a la bobina según la onda PWM que se envía desde el microprocesador. Distintos ciclos de trabajo (anchos de pulso) producen distintos valores de corriente promedio en la bobina, debido a la propiedad pasa bajos de ésta. El driver incluye también un optoacoplador que separa la parte de control de la de potencia, protegiendo a los elementos de circuito.

**Sensor de corriente:** El sensor implementado permite medir la corriente en la bobina mediante el uso de una resistencia de potencia y un circuito acondicionador de señal.

**Sensor de posición:** El sensor de posición utilizado consta de un diodo LED infrarrojo emisor y otro receptor. El

diodo emisor emite un haz de luz infrarroja que rebota en el disco y regresa al receptor. La intensidad de luz recibida, y el voltaje de salida correspondiente del sensor, tiene una variación inversamente proporcional a la distancia entre el disco y el sensor.

**Procesador:** Se implementaron los controladores en un microprocesador optimizado para procesamiento digital de señales (DSP) dsPIC30F4013. Se eligió dicho controlador debido a su alta velocidad de muestreo y procesamiento.

## Resultados

### Control de corriente

El control lineal de corriente produjo una respuesta satisfactoria en cuanto a reducción del tiempo de respuesta y eliminación del error en estado estable.

### Control de posición

Se logró estabilizar la posición del disco alrededor de la posición de equilibrio de 5 cm. Se puede observar un error en estado estable de unos 0.5 cm atribuible principalmente a la no linealidad del sensor de posición. El tiempo de respuesta es de aproximadamente 1.5 segundos. En cuanto al rechazo a perturbaciones, el sistema vuelve a su posición de equilibrio con bastante rapidez si se lo desplaza un máximo aproximado de 0.5 cm de su posición de equilibrio.

Fue necesario usar guías laterales que pasan por agujeros en los bordes del disco para lograr su estabilización. El objetivo de dichas guías es sólo mantener al disco centrado, evitando movimientos laterales, permitiendo el movimiento vertical libre con una fricción mínima. Esto a pesar que el mismo campo magnético jala al imán en el disco a alinearse con el eje central del electroimán. Dicha fricción, aunque muy pequeña, tiene un efecto adicional de amortiguamiento sobre el sistema, lo cual favorece en su estabilización. Sin las guías, el sistema permanece estable por un segundo pero luego oscila con mayor amplitud cada vez hasta caer. Este efecto puede deberse a oscilaciones causadas por un tiempo de muestreo menor al necesario.

## Conclusiones y Recomendaciones

Se logró estabilizar con suficiente robustez al sistema para pequeñas variaciones alrededor de un punto de equilibrio representativo mediante control lineal. La consistencia entre las simulaciones y los resultados prácticos demuestra la validez de los modelos obtenidos alrededor de dicho punto de equilibrio. Se logró además estabilizar al sistema en un punto de equilibrio más lejano al electroimán que en la mayoría de trabajos similares. A pesar de que sólo se describieron simulaciones e implementación de un controlador para una posición de equilibrio, el mismo esquema lineal utilizado puede utilizarse para cualquier punto de equilibrio dentro del rango descrito en el trabajo.

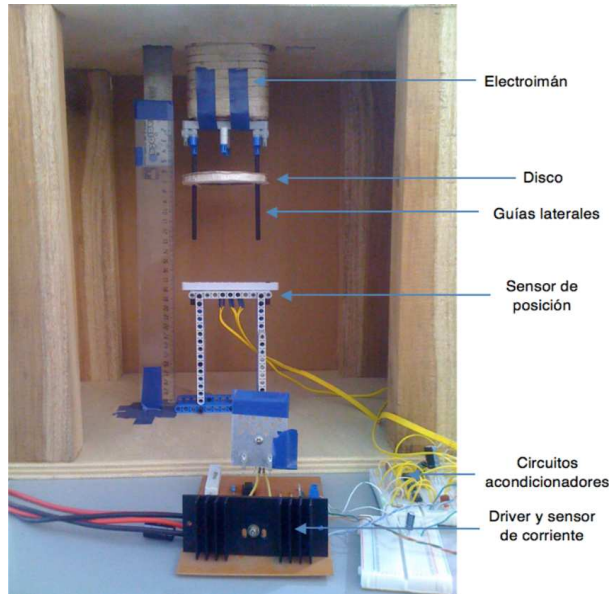


Figura 4: Fotografía del sistema implementado mostrando sus componentes

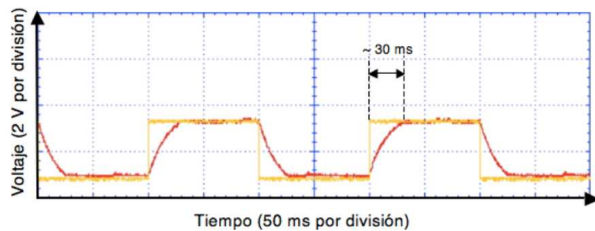


Figura 5: Referencia de corriente de 1 a 2 A y salida del sensor de corriente en la bobina con controlador de corriente

Los resultados también demuestran la versatilidad que ofrece un sistema digital en cuanto a la integración de componentes distintos en un solo sistema. El acondicionamiento de señales de los sensores, conexión de elementos de control y de potencia mediante PWM, la facilidad en la construcción de una interfaz gráfica y la implementación de controladores digitales cuya arquitectura y parámetros se pueden cambiar mediante programación, son evidencias de las ventajas de implementar digitalmente un sistema de control.

No se consiguió implementar en la práctica el objetivo inicial de controlar dinámicamente al sistema maglev en todo su rango, con la posibilidad de seguimiento de trayectorias con un grado de libertad más allá de lograr la estabilización alrededor de una posición fija. Sin embargo, la plataforma física construida y los modelos desarrollados permiten el cumplimiento de ese objetivo. De este modo, se discuten a continuación dificultades que se deben superar y varias posibles estrategias de control para lograrlo.

#### Importancia del tiempo de muestreo y de procesamiento

El efecto de retardo producido por el muestreo y por la operación de retención de los valores hasta el siguiente

ciclo tiene drásticos efectos contra la estabilización del sistema. De hecho, en comparación con otros problemas de control, maglev es mucho más sensible a dicho efecto y requiere procesamiento y muestreo de alta velocidad.

Es posible reducir en cierta medida la necesidad de una alta velocidad de muestreo y procesamiento mediante el diseño digital directo sobre la planta discretizada, cómo se realizó para el control de corriente, de modo que el controlador se pueda diseñar tomando en cuenta totalmente el efecto del muestreo. El tiempo de muestreo se modela de este modo como un término de la función de transferencia del sistema. Sin embargo, la inestabilidad natural del sistema y el hecho que sea altamente no lineal, hace que incluso con el diseño discreto directo se requiera un procesador con velocidad de muestreo y procesamiento altas.

Es por ello que se escogió al dsPIC, dado que posee un núcleo optimizado para instrucciones de DSP y además tiene facilidades de microcontroladores como conversión analógica digital, PWM, etc. Sin embargo un DSP (Digital Signal Processor) como tal está diseñado específicamente para la tarea y permitiría alcanzar mayores velocidades de ejecución de los lazos de control. Otras opciones son FPGAs, CompactRIO o sistemas Real Time.

#### Importancia de la precisión y linealidad de los sensores

El sensor de corriente demostró ser lineal y con una precisión suficiente para lograr la estabilización de corriente con tiempos de respuesta suficientemente bajos. El hecho que sea un sensor netamente analógico (antes de la conversión analógico digital en el dsPIC) es también una ventaja, ya que no se pierde precisión por cuantización en el sensor en sí.

El sensor infrarrojo de posición tuvo una respuesta satisfactoriamente precisa. Factores de diseño que apoyan a ello son la forma plana del disco, el hecho que esta hecho de una superficie lisa y blanca (todo lo cual aumenta su reflectividad). Por otro lado, el guiado del disco tiene una influencia positiva sobre la precisión del sensor ya que evita variaciones de la señal por posibles movimientos laterales del disco fuera del eje central o por pandeos del mismo.

Sin embargo, el sensor es no lineal, lo cual introduce dinámicas al sistema que no se modelan y que dificultan su control, teniendo efectos como errores en estado estable, oscilaciones o funcionamiento restringido a un pequeño rango lineal alrededor de un punto de equilibrio.

Un circuito analógico que linealice la respuesta del sensor podría ser una propuesta para este problema. Basar el sensor en otro principio físico es difícil: un sensor ultrasónico requiere un tiempo de procesamiento (mientras se espera la señal de eco) que introduce un retardo considerable al sistema, lo cual puede desestabilizarlo. Un



sensor basado en LEDs y una o un arreglo de fotorresistencias es una opción, pero la interferencia de la luz ambiente es un problema y esta opción es útil sólo para una posición fija.

Una buena opción es un sensor de efecto hall, que mida la posición del disco mediante el campo magnético en cierto punto. Sin embargo, la arquitectura de control debería cambiarse, ya que el sensor también mide el campo generado por el electroimán y éste sería cambiante para control dinámico de posición. La variable de control al usar éste sensor debería ser el campo magnético en sí.

### Otros esquemas posibles de control

La aplicación de control no lineal al sistema sería el siguiente paso a seguir con el fin de lograr control dinámico sobre todo el rango de operación del sistema. De éste modo se podría tomar en cuenta un modelo más real del sistema, sin necesidad de aproximaciones lineales y diseñar controladores tomando en cuenta la dinámica no lineal.

El primer esquema de control no lineal es Scheduled Gain Control (control por ganancias tabuladas). Dicho esquema posee diversos modelos linealizados del sistema alrededor de varios puntos de equilibrio con controladores lineales diseñados alrededor de dichos puntos. Dependiendo de la zona en la que se encuentre el disco, se activa un controlador lineal respectivo. Ésta estrategia es interesante ya que implementa control sobre un rango permitiendo la facilidad de diseño de controladores lineales.

Sliding Mode Control (SMC) es otra estrategia posible. Parte de un modelo completo y no lineal del sistema y se basa en principios de control por optimización de errores para el diseño de controladores que establezcan al sistema. Diseño de controladores basados en ésta estrategia y simulaciones para el sistema maglev se describen en [5]. Dichos controladores podrían implementarse en el sistema descrito en ésta tesis.

La desventaja de los esquemas de control no lineal es que normalmente requieren mayor cantidad y mayor complejidad de operaciones matemáticas en los controladores, de modo que requieren un elemento de procesamiento optimizado para ello.

La variedad de elementos integrados en el sistema y de estrategias de control posibles, hacen al sistema maglev desarrollado en la presente tesis una buena plataforma de enseñanza e investigación en materias como Control Automático, Mecatrónica, Sensores e Instrumentación, entre otras.

### Modificaciones posibles a la estructura física

El uso de un imán permanente en el disco que levita es la mejor opción para aumentar la fuerza magnética

sobre éste y así aumentar el rango de operación del sistema con la misma corriente que se necesitaría para elementos ferromagnéticos, como una esfera de acero por ejemplo.

Sin embargo, se puede realizar el sistema maglev utilizando una placa de material ferromagnético con la misma área que la del electroimán y hacerlo levitar a una pequeña distancia de éste. Incluso se puede tener un núcleo en forma de E acostado, con el bobinado en el eje central y teniendo a los otros dos ejes laterales como camino para el campo magnético. Ésta implementación facilita el modelado y control del sistema, ya que se puede tratar como un circuito magnético con un pequeño air gap. El sistema es más fácil de controlar con robustez, tiene la capacidad de levitar un mayor peso y rechaza perturbaciones mayores. Sin embargo, funciona en un rango pequeño de distancia entre el electroimán y el objeto que levita.

Otra posible extensión del sistema maglev es la adición de uno o dos grados de libertad mediante la adición de electroimanes para control de posición lateral. Sin embargo, el sistema presenta retos en la ubicación de los sensores y la influencia mutua entre los campos magnéticos de los varios bobinados. Una posible implementación de dicho sistema se describe en [4].

### Referencias

- [1] Li, J.H. 2005. "DSP-based Control of a PWM-driven Magnetic Levitation System." *IEEE ICSS2005 International Conference on Systems and Signals*. 483-487.
- [2] Yang, Z.; Gerulf, K.; Pedersen, M.; Jorgen H.P. 2008. "Model-based Control of a Nonlinear One Dimensional Magnetic Levitation with a Permanent-Magnet Object." *Arreguin, Juan Manuel Ramos. Automation and Robotics. InTech*. 359-374.
- [3] Guillermo, E.; Larriva, J.; Trelles, J. 2003. "Control de un levitador magnético." *Cuenca*.
- [4] Thijssen, M. 1996. "A 2-dimensional Magnetic Levitation-System." Master of Science Thesis. Eindhoven University of Technology.
- [5] Al-Muthairi, N.F. and Zribi, M. 2004. "Sliding Mode Control of a Magnetic Levitation System." *Mathematical Problems in Engineering* (93-107).

## Evaluación preliminar de la temperatura media en superficie del Ecuador para el año 2010, obtenida mediante el modelo Weather Research Forecasting (WRF)

René Parra\*

*Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería –El Politécnico–  
Facultad de Ingeniería Ambiental, Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito, Ecuador*

*\*Autor principal/Corresponding author, e-mail: rparra@usfq.edu.ec*

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 12/01/2012. Aceptado/Accepted: 12/08/2012.

Publicado en línea/Published on Web: 12/28/2012. Impreso/Printed: 12/28/2012.

### Abstract

Weather information is critical to diverse fields of research and environmental management. Meteorological observations are typically recorded in weather stations located at a few points within the area of interest. Through eulerian meteorological models it is possible to generate information for places where direct monitoring is not available. The Advanced Research WRF model was used to simulate the meteorological fields for the year 2010 for continental Ecuador. One master domain (cells of 36 km) and 2 nested subdomains (cells of 12 and 4 km) were used in the model. The modeled monthly mean variation for the temperature captured the tendency of the meteorological records for the 10 stations used in this study. Temperature monthly means for 3 stations were well reproduced, with differences between 0 – 1 °C. At 7 stations the model yielded higher or lower values in comparison with the records, with differences between 0.1 - 2.7 °C. The best correlation between modeled results and observational records happened for the 5 stations located on the coast side (Costa) (R2 between 0.90 – 0.97) whose topography is flat. The correlation coefficient was lower for the stations in the highlands (Sierra) (R2 between 0.69 - 0.89), possibly due to the influence of its complex topography. At 7 stations percentages higher than 90 % were obtained of modeled values that comply with the desired accuracy, according to European criteria. At all stations the average absolute error values were lower than the upper limit that considers the USEPA. At 3 stations values of bias were within the range recommended by the USEPA. Model maps provide an integrated and coherent description of the spatial and temporal variation of temperature throughout the territory. These model products can be very useful for applications in which marginal differences in temperature between model results and observations are not relevant. Assessments with more stations and meteorological parameters are required for a more accurate study. Likewise, it is necessary to evaluate the performance of the model, considering separately the Costa, Sierra and Amazonia; with a higher spatial resolution for the Sierra's simulations.

**Keywords.** Eulerian model, meteorology, INAMHI, desired accuracy, mean absolute gross error

### Resumen

La información meteorológica es clave para diversos ámbitos de investigación y gestión ambiental. Los valores de los parámetros típicamente se registran en estaciones meteorológicas emplazadas en pocos puntos. Los modelos meteorológicos eulerianos permiten generar información en lugares exentos de monitoreo directo. Se utilizó el modelo Advanced Research WRF para simular la meteorología del año 2010 para la zona del Ecuador continental, mediante un dominio maestro (celdas de 36 km) y 2 subdominios anidados (celdas de 12 y 4 km). Los valores modelados de la temperatura media mensual capturaron la tendencia de los registros en las 10 estaciones utilizadas en el estudio. Los perfiles de 3 estaciones fueron bien reproducidos, con diferencias entre 0 y 1 °C. En 7 estaciones el modelo presentó valores mayores o menores a los registros, con diferencias entre 0.1 - 2.7 °C. La mejor correlación lineal entre registros y resultados modelados, se presentó en las 5 estaciones de la Costa (R2 entre 0.90 - 0.97), zona de topografía plana. La correlación fue menor en las estaciones de la Sierra (R2 entre 0.69 - 0.89), posiblemente por la influencia de su topografía compleja. En 7 estaciones se obtuvieron porcentajes mayores al 90 % de valores modelados que cumplen con la precisión deseada, según el criterio europeo. En todas las estaciones se obtuvieron valores del error medio absoluto menores al límite máximo que considera la USEPA. Los mapas del modelo describen de manera integrada y coherente, la variación espacial y temporal de la temperatura en todo el territorio. En 3 estaciones se obtuvieron valores del sesgo dentro del rango que recomienda la USEPA. Los resultados pueden ser de gran utilidad para aplicaciones para las que no es relevante las diferencias marginales con los registros. Para estudios de mayor alcance, se requieren evaluaciones con más estaciones y parámetros meteorológicos. Es necesario evaluar el desempeño del modelo, considerando por separado la Costa, Sierra y Amazonia; con una mayor resolución espacial para las simulaciones de la Sierra.

**Palabras Clave.** Modelo Euleriano, meteorología, INAMHI, precisión deseada, error medio absoluto



## Introducción

La información meteorológica es clave para diversos ámbitos de investigación, gestión ambiental, energética y ecológica.

Históricamente los valores de la temperatura, radiación solar, dirección y velocidad del viento, humedad relativa, presión atmosférica y lluvia; entre otras variables, se registran en pocas estaciones localizadas en sitios seleccionados, en función del potencial uso de la información.

En el Ecuador, el Instituto Ecuatoriano de Meteorología e Hidrología (INAMHI) es la entidad con competencias de implementación y operación las estaciones meteorológicas. Actualmente hay unas 260 estaciones a nivel nacional [1]. La Dirección General de Aviación Civil (DGAC) opera y mantiene estaciones meteorológicas en los aeropuertos del país. Las estaciones de la DGAC operan desde las 06h00 hasta las 19h00. No hay monitoreo meteorológico durante la noche.

Las estaciones meteorológicas forman parte de las redes de monitoreo de la calidad del aire. La Secretaría de Ambiente del Municipio de Quito opera y mantiene 6 estaciones meteorológicas [2]. La Empresa de Movilidad y Transporte EMOV-EP, desde mayo de 2012 opera una estación meteorológica emplazada en el centro histórico de Cuenca [3].

Las actividades de gestión e investigación requieren de información meteorológica con mayor alcance espacial, en relación a la que proporcionan las estaciones; considerando la influencia de las condiciones orográficas. Por ejemplo, la línea base de los estudios de impacto ambiental, frecuentemente requiere de datos de variables atmosféricas, en lugares en donde no hay estaciones.

Una alternativa para generar información meteorológica, virtualmente para cualquier parte del mundo, se encuentra en los modelos meteorológicos de tipo euleriano.

En el Ecuador hay experiencias en la aplicación de modelos meteorológicos. Para los inventarios de emisiones de contaminantes del aire en Quito, de los años 2005 [4] y 2007 [5]; y en Cuenca, años 2007 [6] y 2009, se utilizó el modelo *Weather Research and Forecasting (WRF)*, para generar mapas de temperatura, radiación solar y viento en superficie, con resoluciones de hasta 1 km. Los mapas de temperatura y radiación solar, son los parámetros físicos más importantes para las emisiones de la vegetación [7, 8, 9].

El WRF es un modelo numérico euleriano, de última generación, de código libre; que se utiliza para pronóstico e investigación meteorológica. Es aplicable a escalas global, mesoescalar, regional o local. Permite el procesamiento numérico en paralelo con gran eficiencia [10]. Trabaja con dominios tridimensionales con respecto a un sistema de referencia x, y, sigma. Los valores sigma definen la configuración vertical, mediante superficies

planas para las capas altas de la atmósfera, que van tomando la forma de la topografía de la zona de simulación, a medida que las capas se acercan a la superficie.

Se simuló la meteorología de un año completo para la zona continental del Ecuador, a fin de disponer datos con mayor alcance espacial, y entender mejor el comportamiento de las variables atmosféricas en el ciclo anual.

De manera preliminar, se presenta la evaluación de la temperatura media mensual en superficie, parámetro básico, que en la gestión de la calidad del aire se relaciona directamente con el comportamiento emisor de la vegetación, las tasas de estabilización de la materia orgánica, la tendencia de evaporación de las fracciones más volátiles de los combustibles, la estabilidad atmosférica y su rol en la dispersión de contaminantes del aire; entre otros.

## Método

Se desarrollaron simulaciones para el año 2010, mediante el modelo Advanced Research WRF (ARW) versión 3.2 [11], con un dominio maestro y dos subdominios anidados (Fig. 1). El segundo dominio anidado circunscribe a todo el territorio continental del Ecuador, y se conforma de una malla de 199 filas y 199 columnas, con celdas de 4 km de lado. Las condiciones iniciales y de contorno se generan a partir de la base de datos de análisis final (NCEP-FNL) del National Center for Atmospheric Research de los Estados Unidos [12]. Estos archivos proporcionan información meteorológica global, 4 veces por día (horas 00, 06, 12 y 18; hora universal), en celdas de 1 grado geográfico de lado (aproximadamente 110 km). Los archivos de análisis final son generados por el Global Data Assimilation System (GDAS) [13], sistema que permanentemente colecta registros del Global Telecommunications Systems (GTS) y otras fuentes.

La Tabla 1 presenta los principales parámetros de simulación.

Los componentes, las ecuaciones numéricas, tratamiento de las condiciones iniciales y de borde, las opciones físicas, anidamiento y demás características del modelo WRF, pueden ser consultados en la documentación técnica del modelo [11].

Las simulaciones se desarrollaron para los días 1 hasta 27 de cada mes. Se obtuvieron mapas representativos (valores medios mensuales), mediante el promedio de todos los resultados horarios.

El procesamiento numérico se desarrolló en una estación de trabajo de 12 GB de memoria RAM, con 12 procesadores (2 componentes de 6 cores) de 2.4 GHz cada uno. Las simulaciones se desarrollaron en grupos de 3 días. Los resultados por grupo se obtuvieron en aproximadamente 10 horas.

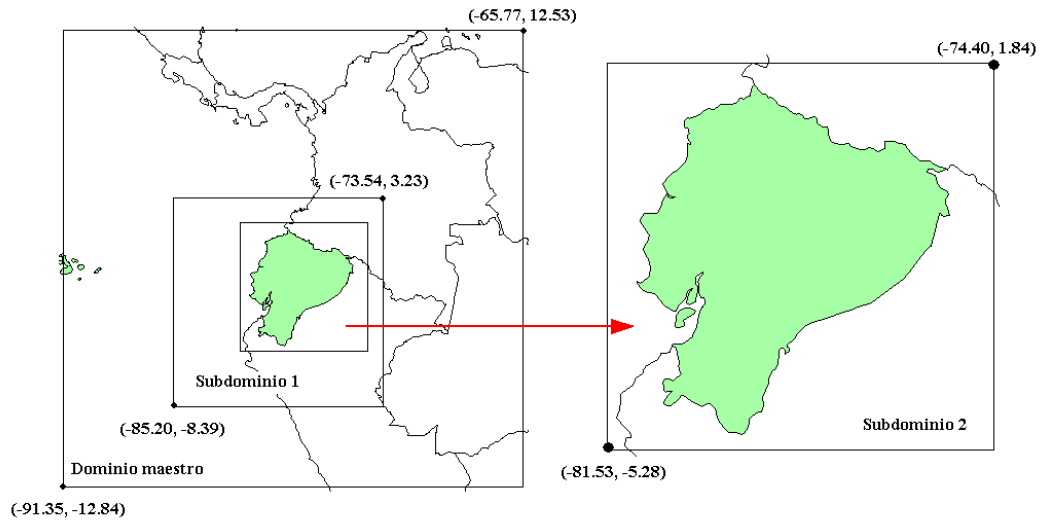


Figura 1: Dominios de simulación meteorológica para el territorio continental del Ecuador.

Parámetro	Dominio maestro	Subdominio 1	Subdominio 2	Observaciones
e_we	80	109	199	Número de celdas horizontales
e_sn	80	109	199	Número de celdas verticales
e_vert	26	26	26	Número de niveles verticales
dx	36	12	4	Dimensión horizontal de celda (km)
dy	36	12	4	Dimensión vertical de celda (km)
Parámetros físicos				
mp_physics		16		WRF Double-Moment 6-class scheme
sf_surface_physics		1		Monin-Obuknov
bl_pbl_physics		2		Mellor-Yamada-Janjic

Tabla 1: Parámetros de simulación meteorológica para el Ecuador continental, año 2010.

Como periodo de prueba, se seleccionó el año 2010, año reciente del cual se requiere información meteorológica con alcance nacional y suficiente detalle espacial, para otras actividades de investigación, entre las que se destacan el primer inventario de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de la vegetación y la estimación de las emisiones de material particulado por erosión eólica del Ecuador.

**Resultados y discusión**

Las Figs. 2 - 3 presentan los mapas de la temperatura media por mes. Tanto la variación espacial y temporal son coherentes. La temperatura disminuye con la altura. En todo el territorio, los valores más bajos se presentaron en agosto, mes de poca lluvia y escasa nubosidad, con temperaturas mínimas más bajas y una mayor pérdida de calor nocturno en la superficie.

Los valores medios mensuales simulados de la temperatura se compararon con los registros de 10 estaciones, 5 localizadas en la Costa (aeropuertos de Esmeraldas, Manta, Santo Domingo, Portoviejo y estación en Milagro) y 5 en la Sierra (aeropuertos de Ibarra, Latacunga, Ambato, Riobamba y Cuenca)(Fig. 4). Para el cálculo de la temperatura media mensual, solamente se consideraron los resultados simulados desde las 06h00 hasta las 19h00; que corresponde al periodo de monitoreo de las estaciones de los aeropuertos.

Los valores simulados capturan la tendencia mensual de los registros en las 10 estaciones (Figs. 5 - 6). Los valores de Esmeraldas (diferencias entre 0 y 0.6 °C), Riobamba (diferencia entre 0 y 0.9 °C) y Cuenca (diferencias entre 0.1 y 0.9 °C) fueron los mejor capturados por el modelo. En Santo Domingo, Manta, Portoviejo, Milagro, Latacunga y Ambato el modelo presentó valores mayores a los registros (diferencias entre 0.1 y 2.7 °C, sesgo positivo). En Ibarra el modelo presentó valores menores a los registros (diferencias entre 1 y 2.4 °C, sesgo negativo).

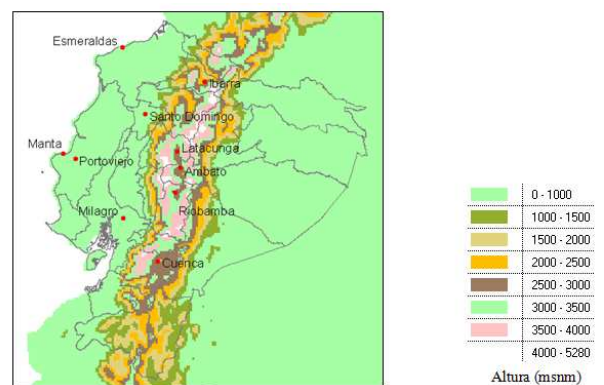


Figura 4: Localización de estaciones meteorológicas (puntos rojos) cuyos registros se comparan con los resultados modelados de la temperatura de la temperatura media en superficie.

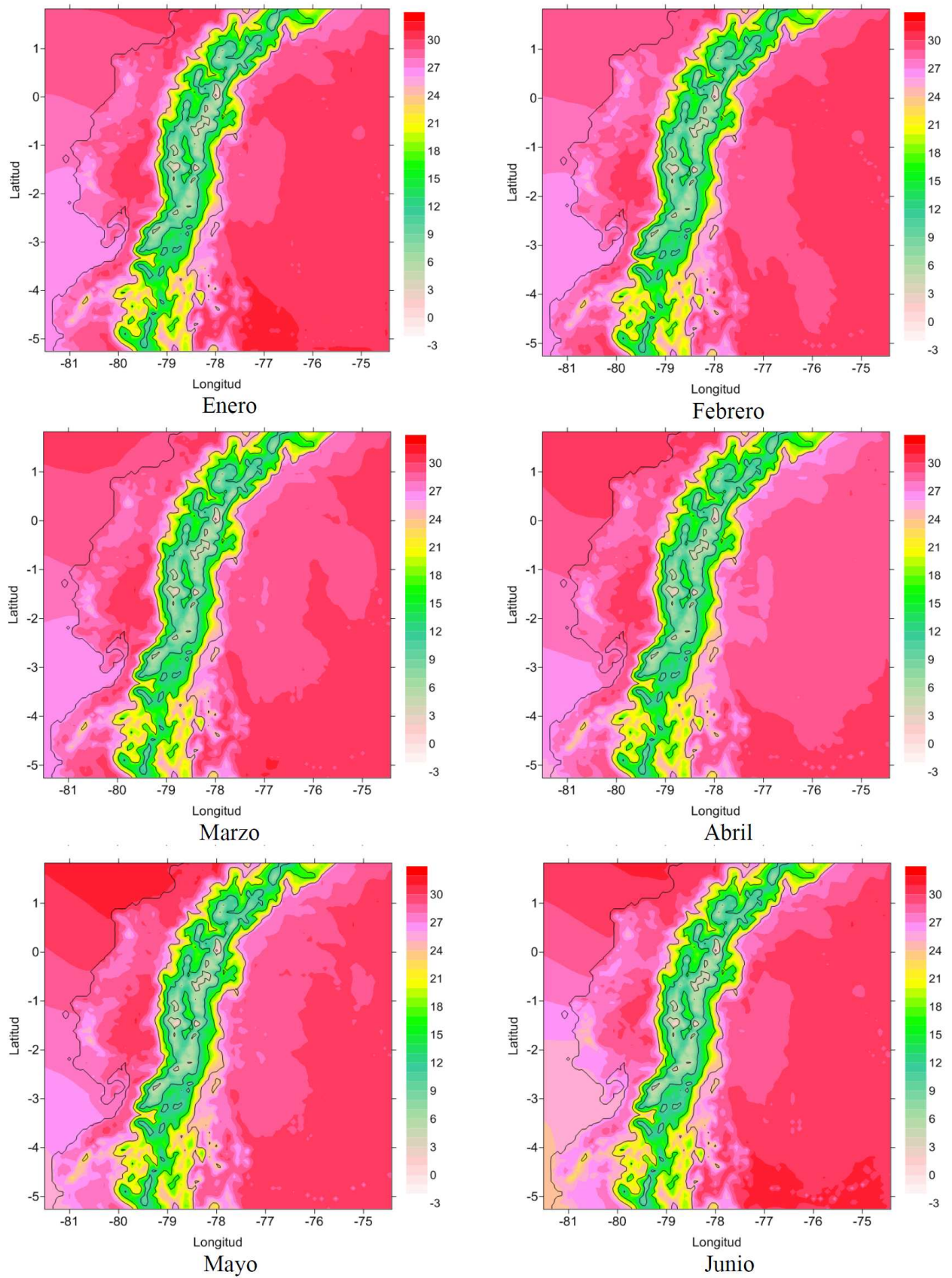


Figura 2: Mapas de temperatura media en superficie (°C) del año 2010 para la zona continental del Ecuador. Enero - Junio.



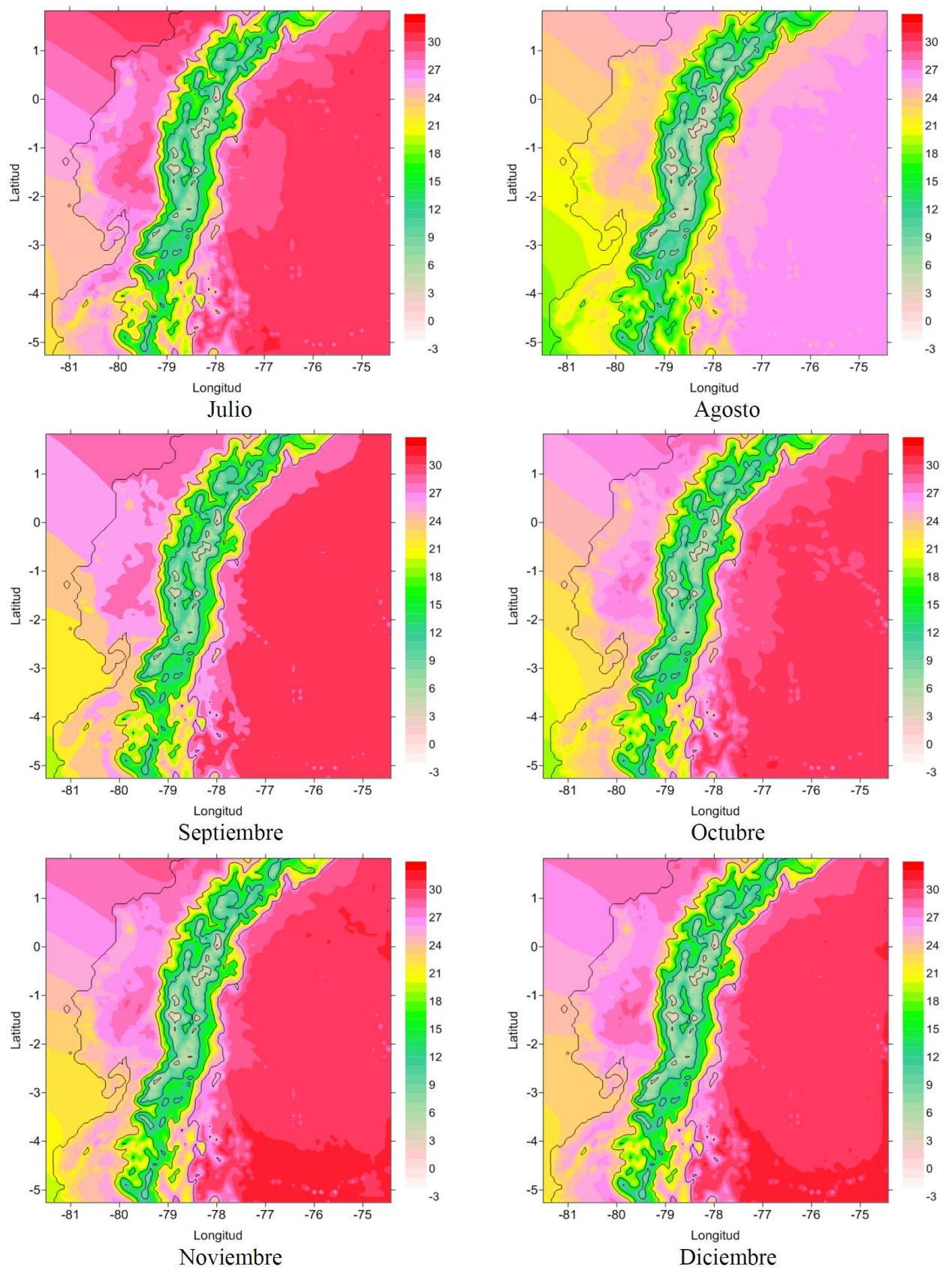


Figura 3: Mapas de temperatura media en superficie ( $^{\circ}\text{C}$ ) del año 2010 para la zona continental del Ecuador. Julio - Diciembre.

Estación	Región	Porcentajes de valores modelados que cumplen el criterio europeo para la precisión deseada (<2°C, EEA)		Error medio absoluto (mean absolute gross error) <2 K, USEPA	Sesgo (bias) <±0.5 K, USEPA	Índice de congruencia (index of agreement) >±0.8 K, USEPA
Esmeraldas		100.0		0.3	0.1	0.88
Santo Domingo		91.7		1.7	1.7	0.35
Manta	Costa	83.3		1.6	1.6	0.37
Portoviejo		91.7		1.4	1.4	0.37
Milagro		75.0		1.7	1.7	0.31
Ibarra		50.0		1.9	-1.9	0.73
Latacunga		91.7		1.7	1.7	0.79
Ambato	Sierra	100.0		0.9	0.9	0.90
Riobamba		100.0		0.5	-0.5	0.97
Cuenca		100.0		0.5	-0.1	0.97

Tabla 2: Resumen de parámetros de evaluación de simulación de la temperatura media mensual en superficie.

Las Figs. 7 - 8 presentan la correlación entre los registros (eje x) y los valores modelados (eje y). La línea azul presenta una pendiente de 45°. En una correlación perfecta, todos los pares de valores (puntos rojos) deberían alinearse con la recta azul. Las líneas de correlación de los pares, son aproximadamente paralelas a la recta de 45°, e indican con claridad los casos en los que el modelo generó valores mayores o menores a los registros.

El coeficiente R2 describe con la correlación lineal entre los registros y valores modelados. Los mejores valores de R2 se presentan en las estaciones de la Costa, con valores entre 0.90 y 0.97. La correlación es menor en las estaciones de la Sierra, con valores de R2 entre 0.69 y 0.89.

La mejor correlación en las estaciones de la Costa se explicaría por la topografía plana. Para la Sierra, zona con topografía compleja, se podría mejorar la correlación con resoluciones menores a 4 km. A fin de mejorar la correlación, es necesario investigar el desempeño del modelo al simular por separado las zonas de la Costa, Sierra y Amazonía; con una mayor resolución espacial para las simulaciones de la Sierra.

En la Unión Europea se considera como precisión deseada, para gestión de la calidad del aire, que la temperatura modelada presente variaciones de hasta ± 2 °C con relación a los registros [14].

Con igual finalidad, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) establece valores menores a 2 K para el error medio absoluto (mean absolute gross error, MAE) de la temperatura simulada, menores de ± 0.5 K para el sesgo (bias), y mayores o iguales a 0.8 para el índice de congruencia (index of agreement, IOA) [14].

Para cada estación, se calculó el error medio absoluto mediante la Ecn 1:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i - O_i \quad (1)$$

Siendo:

MAE: error medio absoluto

n: número de valores evaluados (12)

Mi: valor modelado de orden i

Oi: valor observado de orden i

El sesgo se calculó mediante la Ecn 2:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_m - O_m \quad (2)$$

Siendo:

BIAS: sesgo

n: número de valores evaluados (12)

Mm: promedio aritmético de los valores modelados

Om: promedio aritmético de los valores medidos

El índice de congruencia se calculó mediante la Ecn 3:

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [|M_i - M_m| + |O_i - O_m|]} \quad (3)$$

Siendo:

IOA: índice de congruencia

n: número de valores evaluados

Mi: valor modelado de orden i

Mm: promedio aritmético de los valores modelados

Om: promedio aritmético de los valores medidos

Oi: valor observado de orden i

Los resultados se indican en la Tabla 2.

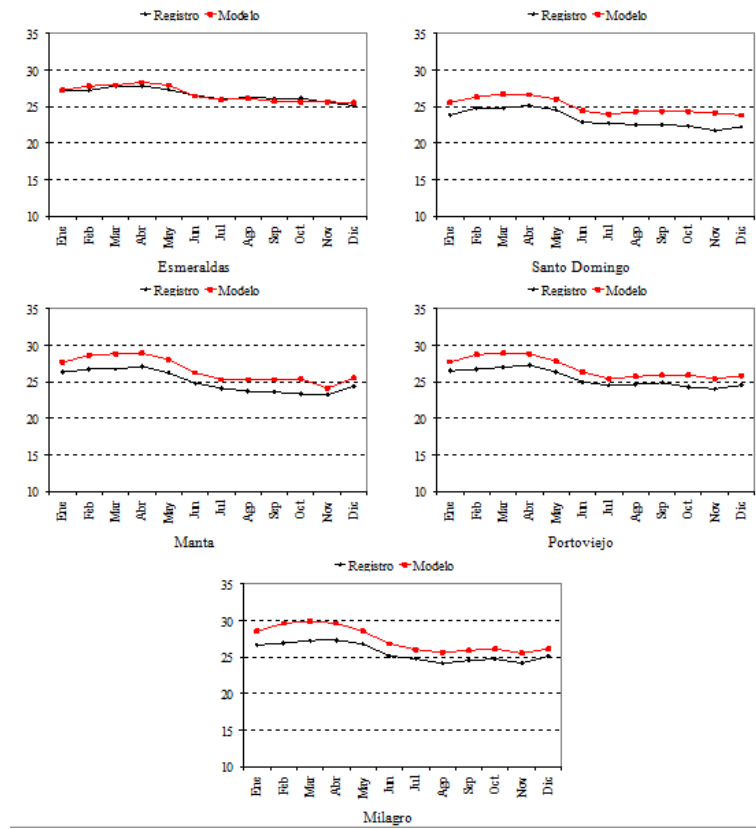


Figura 5: Comparación de la temperatura media mensual (°C). Registro Vs. Modelo. Estaciones de la Costa.

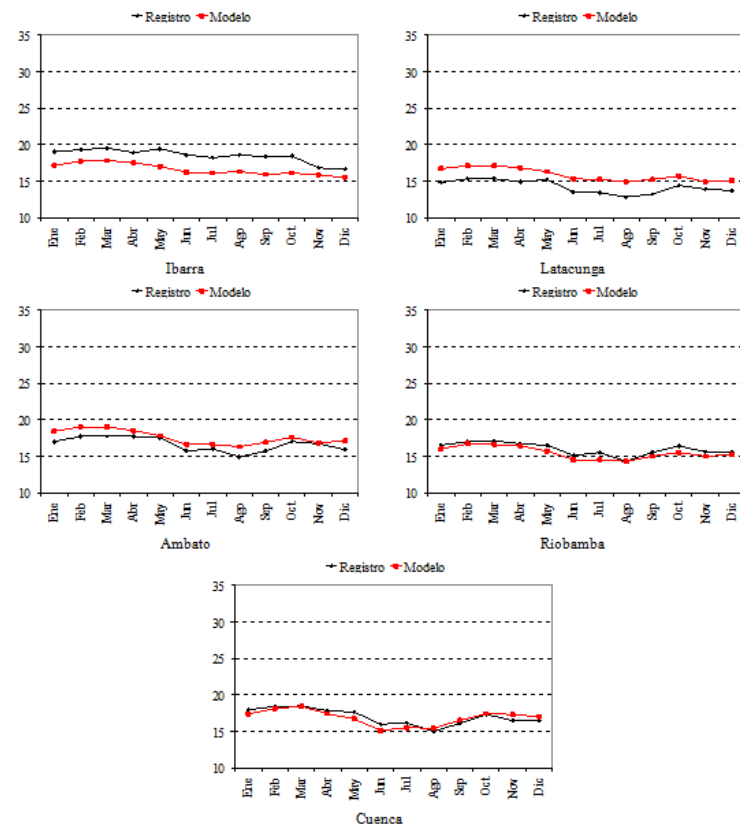


Figura 6: Comparación de la temperatura media mensual (°C). Registro Vs. Modelo. Estaciones de la Sierra.

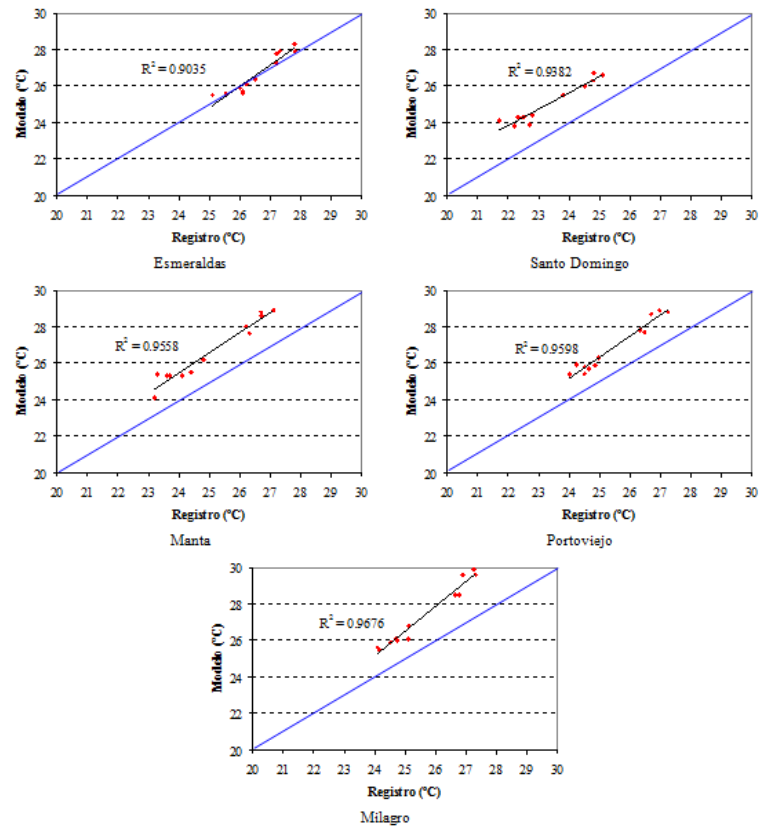


Figura 7: Pares de valores (puntos rojos) de la temperatura media mensual (°C). Registro (eje x), modelo (eje y). Estaciones de la Costa.

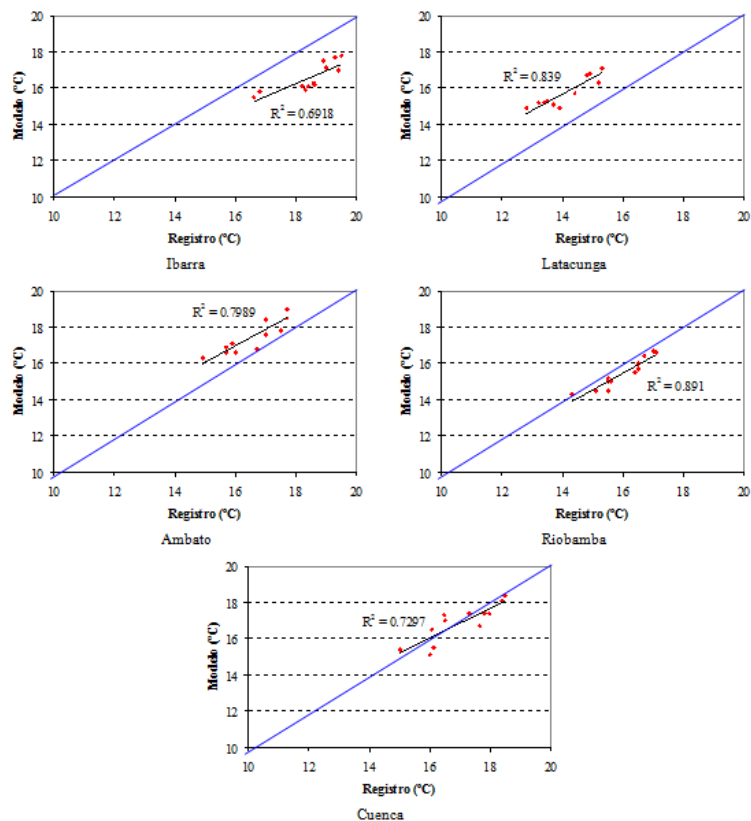


Figura 8: Pares de valores (puntos rojos) de la temperatura media mensual (°C). Registro (eje x), modelo (eje y). Estaciones de la Sierra.



En 7 de 10 estaciones se obtuvieron porcentajes mayores al 90 % de valores modelados que cumplen con la precisión deseada, según el criterio europeo. En todas las estaciones se obtuvieron valores del error medio absoluto menores al límite máximo que considera la USEPA. En 3 estaciones (Esmeraldas, Riobamba y Cuenca) se obtuvieron valores del sesgo dentro del rango que recomienda la USEPA. En 4 estaciones se obtuvieron valores del índice de congruencia dentro del rango que establece la USEPA.

Los mapas modelados describen de manera integrada la variación espacial y temporal de la temperatura media en todo el territorio. Aunque el modelo proporcionó valores mayores (hasta 2.7 °C) o menores (hasta 2.4 °C) en relación con los registros de algunas estaciones, los resultados pueden ser de gran utilidad, para aplicaciones en donde no es relevante estas diferencias marginales, como es el caso de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de la vegetación.

La evaluación preliminar presenta un balance positivo, siendo necesario a futuro analizar periodos mayores, considerando registros diarios u horarios.

Estos resultados pueden ser de gran utilidad para aplicaciones para las que no es relevante las diferencias marginales con los registros. Para estudios de mayor alcance, se requieren evaluaciones con más estaciones y parámetros meteorológicos, incluyendo a la región amazónica. Es necesario evaluar el desempeño del modelo, considerando por separado la Costa, Sierra y Amazonía; con una mayor resolución espacial para las simulaciones de la Sierra. Se deberán incluir otros parámetros como la radiación solar, dirección - velocidad del viento y lluvia, considerando diferentes alternativas de parametrización del modelo.

A fin de mejorar el desempeño del modelo, se debe investigar el potencial aporte de los archivos de reanálisis para las condiciones iniciales y de contorno; archivos que incorporan a los resultados simulados a escala global, una cantidad importante de registros de monitoreo.

Un número suficiente de estaciones y un modelo validado constituye una combinación óptima para el monitoreo meteorológico.

### Agradecimientos

Al INAMHI, por la entrega de la información de los registros meteorológicos.

A María del Carmen Cazorla, por sus observaciones y sugerencias; así como por la revisión del texto en inglés.

### Referencias

- [1] Inamhi. 2012. Enlace: [http : //www.inamhi.gob.ec](http://www.inamhi.gob.ec) Fecha de consulta: 7 diciembre 2012.
- [2] Secretaria de Ambiente. 2012. Enlace: [http : //www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec) Fecha de consulta: 7 diciembre 2012.
- [3] EMOV EP. 2012. "Informe de la calidad del aire de la Ciudad de Cuenca durante el año 2011". En prensa.
- [4] Corpaire. 2007. "Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2005". Quito, Ecuador.
- [5] Corpaire. 2009. "Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito 2007". Quito, Ecuador.
- [6] Fundación Natura - Cuencaire - CGA. 2009. "Resumen del Inventario de Emisiones atmosféricas del Cantón Cuenca, Año Base 2007". Cuenca.
- [7] Guenther, A. B.; Zimmerman, P.R.; Harley, P.C. 1993. "Isoprene and Monoterpenes Emission Rate Variability: Model Evaluations and Sensitivity Analysis". *Journal of Geophysical Research*. 98(D7): 12609 – 12617.
- [8] Guenther, A.; Hewitt, C.N.; Erickson, D.; Fall, R.; Geron, C.; Graedel, T.; Harley, P.; Klinger, L.; Lerdau, M.; McKay, W.A.; Pierce, T.; Scholes, B.; Steinbrecher, R.; Tallamraju, R.; Taylor, J.; Zimmerman, P. 1995. "A global model of natural volatile organic compound emissions". *Journal of Geophysical Research*. 100(D5): 8873 – 8892.
- [9] Guenther, A.; Karl, T.; Harley, P.; Wiedinmyer, C.; Palmer, P. I.; Geron, C. 2006. "Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature)". *Atmos. Chem. Phys.* 6: 3181-3210.
- [10] Michalakes, J.; Dudhia, J.; Gill, D.; Henderson, T.; Klemp, J.; Skamarock, W.; Wang W. 2004. "The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance". Eleventh ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology. Walter Zwiefelhofer and George Mozdzyński Eds., World Scientific. 156 – 168.
- [11] WRF. 2012. "The Weather Research and Forecasting Model". Enlace: [http : //www.wrf-model.org](http://www.wrf-model.org). Fecha de consulta: 7 diciembre 2012
- [12] NCAR. 2012. "CISL Research Data Archive". Enlace: [http : //rda.ucar.edu](http://rda.ucar.edu) Fecha de consulta: 7 diciembre 2012
- [13] ARL. 2012. "Global Data Assimilation System (GDAS1) Archive Information". Enlace: [http : //ready.arl.noaa.gov/gdas1.php](http://ready.arl.noaa.gov/gdas1.php) Fecha de consulta: 13 diciembre 2012
- [14] EEA. 2011. "The application of models under the European Union's Air Quality Directives. A technical reference guide". *European Environment Agency, Technical report No 10/2011*, 70.

## Nuevo registro de *Promops centralis* (Chiroptera: Molossidae) en el suroriente del Ecuador

### *Promops centralis* en el suroriente de Ecuador

Javier Fernández de Córdova\*, Carlos Niveló-Villavicencio, Pedro X. Astudillo.

Laboratorio de Ecología, Escuela de Biología, Ecología y Gestión, Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo 7-77 y Hernán Malo, Teléfono: (593) 7 4091000, Fax: (593) 72815-997, Apartado 01.01.981, Cuenca, Ecuador.

\*Corresponding autor / Autor para correspondencia, e-mail: [jfdocordova@gmail.com](mailto:jfdocordova@gmail.com)

Editado por/Edited by: Diego F. Cisneros-Heredia.  
Recibido/Received: 2016-12-07. Aceptado/Accepted: 2017-02-07.  
Publicado en línea/Published online: 2017-04-19

DOI: <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v9i15.770>

Zoobank: <http://zoobank.org/urn:lsid:zoobank.org:pub:38EA1A53-7656-4A2F-917C-15B316974D20>

## New record of *Promops centralis* (Chiroptera: Molossidae) in south-eastern Ecuador

### Abstract

*Promops centralis* (Chiroptera: Molossidae) is reported for the first time in south-eastern Ecuador, province of Morona Santiago. In 1998, an adult female was collected at Limón-Indanza. The specimen was donated to the mastozoology collection of the Museo de Zoología, Universidad del Azuay (MZUA) in 2016. The specimen was collected in secondary low montane forest on the eastern subtropical zoogeographic region. This record is a new locality for *P. centralis*, extending the species' known distribution in Ecuador and providing its highest elevation record.

**Keywords:** Amazonia, bat, distribution, elevation, montane forest, Morona-Santiago, new locality

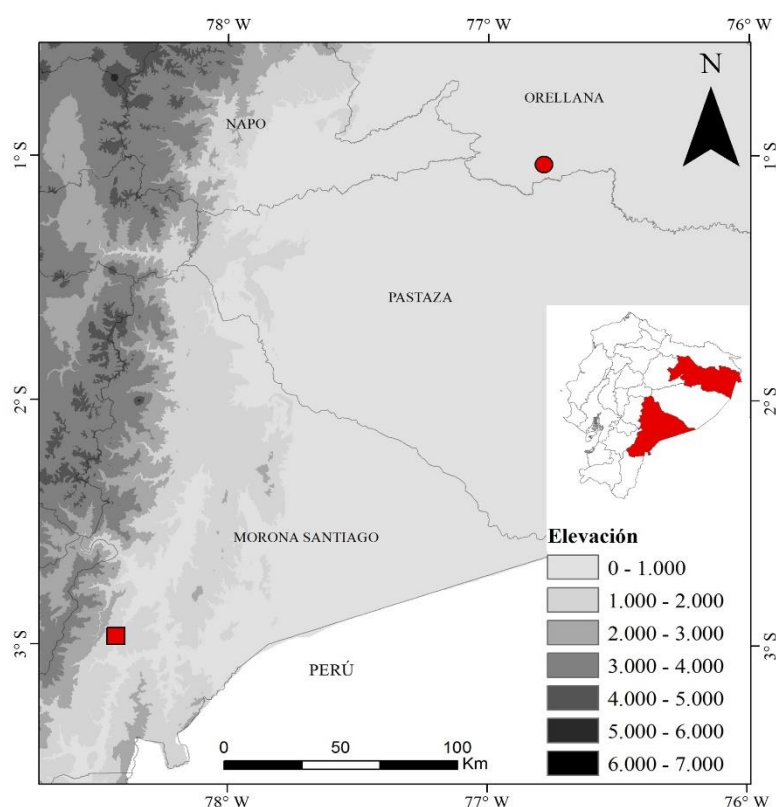
### Resumen

*Promops centralis* (Chiroptera: Molossidae) es reportado por primera vez en el suroriente del Ecuador, provincia de Morona Santiago. En 1998, una hembra adulta fue colectada en la localidad de Limón-Indanza. El espécimen fue donado a la colección de mastozoología del Museo de Zoología de la Universidad del Azuay (MZUA) en 2016. El espécimen fue colectado en bosque montano bajo secundario en el piso zoo-geográfico subtropical oriental. Este registro es una nueva localidad para *P. centralis*, que extiende la distribución conocida de la especie en Ecuador y provee la localidad de mayor elevación.

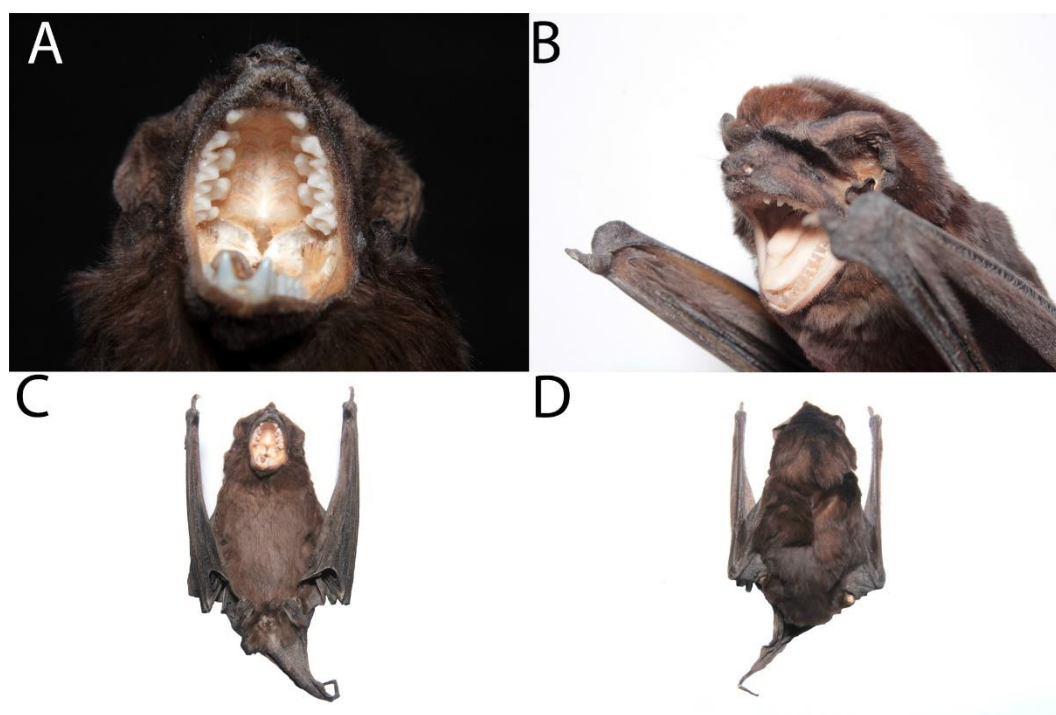
**Palabras clave:** Amazonía, bosque montano, distribución, altitud, murciélago, Morona-Santiago, nueva localidad.

El género *Promops* (Molossidae) se encuentra a la región del Neotrópico y en la actualidad comprende tres especies: Murciélago mastín canela con cresta *Promops centralis*, Murciélago mastín narigón con cresta *Promops nasutus*, y Murciélago mastín grande con cresta *Promops davisoni* [1]. *Promops centralis* está ampliamente distribuido, con registros desde Sonora en México, a través de Centro América hasta el occidente de Perú y también en la Amazonía occidental hasta Paraguay y el noreste de Argentina [2]. La especie ocupa un rango de elevación que va desde el nivel del mar hasta los 1800 m [2–3]. En Ecuador, habita en bosques tropicales tanto húmedos como secos entre 50–920 m de elevación y la mayoría de los registros provienen de las tierras bajas del occidente y de las estribaciones occidentales de la cordillera de los Andes [4]. El único registro documentado para la región amazónica del Ecuador se encuentra al noreste en la provincia de Orellana [4–5] (Fig. 1).

El 17 de junio de 1998, una hembra adulta de *Promops centralis* fue registrada por F. Sánchez Karste en la localidad Limón-Indanza (2.96°S, 78.43°W; 1059 m), provincia de Morona Santiago, Ecuador (Fig. 1). Tanto el sexo como la edad fue reconocida por la presencia de órganos sexuales femeninos desarrollados (i.e., glándulas mamarias). El espécimen fue capturado mediante el uso de una red cónica manual dispuesta sobre una grieta. La localidad era un bosque montano bajo secundario ubicado en las cercanías del centro poblado, en el piso zoogeográfico subtropical oriental [6]. El ejemplar formó parte de la colección didáctica del Colegio Nacional de Limón-Indanza y fue donado al Museo de Zoología de la Universidad del Azuay (MZUA) en 2016 por el colector. El espécimen se encuentra bajo el número de colección MZUA-MA256.



**Figura 1.** Registros de *Promops centralis* en la Amazonía del Ecuador. El círculo rojo representa el registro en el Parque Nacional Yasuní (Reid et al. [5]), provincia de Orellana, nororiente de Ecuador. El cuadrado rojo representa la nueva localidad aquí reportada, Limon-Indanza, provincia de Morona Santiago, suroriente de Ecuador.



**Figura 2.** Fotografía de una hembra adulta de *Promops centralis* (MZUA-MA256), registrada en la localidad de Limón-Indanza, Morona Santiago, suroriente del Ecuador. (A) vista del paladar, (B) vista de la cabeza, (C) vista ventral, (D) vista dorsal.

**Tabla 1.** Variables morfométricas (mm) de una hembra adulta de *Promops centralis* (MZUA-MA256) registrada en la localidad de Limón-Indanza, suroriente del Ecuador.

Variable morfométrica	Dimensiones (en mm)
Largo total	121.5
Largo cola	51.6
Largo oreja	13.4
Largo pata (con uña)	9
Antebrazo	52
Tibia	17.8
Calcáneo	23.3
Pulgar	5.9
Membrana caudal	30.4

El espécimen fue identificado como *Promops centralis* por presentar una coloración marrón acanelada en el dorso, mientras la base de los pelos es ligeramente más clara (Fig. 2D). El vientre es más claro contrastando levemente con el dorso (Fig. 2C). En la frente, los pelos están dispuestos a manera de mechón, con una tonalidad rojiza marcada con una tenue diferencia con el resto del pelaje de la cabeza, el cual tiende a ser marrón (Fig. 2B). Los antebrazos muestran una pequeña hilera de

pelos hacia el borde dorsal inferior, mientras que en las patas están presentes pocos pelos que se extienden hasta la uña (Fig. 2B). Están presentes cuatro incisivos inferiores, la cavidad palatina es profunda y cóncava; particularidades del género *Promops* (Fig. 2A) [2,7-8]. Finalmente, las variables morfométricas del espécimen (Tabla 1) fueron cotejadas con las descripciones y claves de identificación de la guía de campo de los mamíferos del Ecuador [4] para validar la identificación.

Este registro representa una nueva localidad para *Promops centralis* que extiende el rango geográfico de la especie hacia el suroriente del Ecuador. La localidad conocida más cercana se ubica a 280 km al norte, dentro del Parque Nacional Yasuní (2.96°S, 78.43°W; 220 m) en la provincia de Orellana, nororiente de Ecuador [5]. La nueva localidad de Limón-Indanza es la de mayor altitud reportada hasta el momento para la especie en el Ecuador, aumentado en ca. 140 m de elevación su rango altitudinal previamente conocido [4]. Este registro podría indicar que la especie se distribuye localmente a través del oriente ecuatoriano y estribaciones

orientales de los Andes, en especial teniendo en cuenta que es un murciélago con preferencias ecológicas amplias [9-11].

### AGRADECIMIENTOS

A Francisco Sánchez Karste por la donación del espécimen. A Juan Carlos Sánchez por su colaboración con las fotografías. Un agradecimiento especial a Jacinto Guillén por el apoyo constante a nuestras investigaciones. Este artículo se benefició de la cuidadosa revisión del texto por parte de Verónica L. Urgilés y David Siddons. La elaboración de este manuscrito estuvo financiada por la Universidad del Azuay (Fondos UDA: 2016-42). El Museo de Zoología de la Universidad del Azuay está regido por la patente ambiental FAUS-UDA-MUSEO DE ZOOLOGÍA-003-2016.

### REFERENCIAS

- [1] Gregorin, R., & Cirranello, A. (2016). Phylogeny of Molossidae Gervais (Mammalia: Chiroptera) inferred by morphological data. *Cladistics*, 32(1), 2–35. doi: <http://doi.wiley.com/10.1111/cla.12117>
- [2] Wilson, D. E., & Reeder, D. M. (Eds.). (2005). *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*. Vol. 1. Baltimore. JHU Press. Recuperado de <http://www.press.jhu.edu>
- [3] González-Terrazas, T. P., Viquez, L. R., Ibarra-Macias, A., Ruiz, A. T., Torres-Knoop, L., Jung, K., Tschapka, M., & Medellín, R. A. (2016). New records and range extension of *Promops centralis* (Chiroptera: Molossidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(4), 1047–1411. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.10.008>
- [4] Tirira, D. (2007). *Guía de campo de los mamíferos del Ecuador*. Publicación especial sobre los mamíferos del Ecuador 6. Quito: Ediciones Murciélago Blanco.
- [5] Reid, F. A., Engstrom, M. D., & Lim, B. K. (2000). Noteworthy records of bats from Ecuador. *Acta Chiropterologica*, 2(1), 37–51.
- [6] Albuja, L. (2011). *Lista de mamíferos actuales del Ecuador*. Quito: Instituto de Ciencias Biológicas, Escuela Politécnica Nacional.
- [7] Anderson, S., Riddle, B. R., Yates, T. L., & Cook, J. A. (1993). Los Mamíferos del Parque Nacional Amboró y la Región de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. *Special Publication, The Museum of Southwestern Biology*, 2, 1–58. Recuperado de <http://hdl.handle.net/1928/26722>
- [8] Gardner, A. L. (Eds.). 2007 [2008]. *Mammals of South America*. Volume 1: Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats. Chicago: University of Chicago Press.
- [9] Freeman, P. W. (1981). A multivariate study of the family Molossidae (Mammalia, Chiroptera): morphology, ecology, evolution. *Fieldiana Zoology*, 7, 1–173. doi: <https://doi.org/10.2307/1380660>
- [10] Jung, K., Molinari, J., & Kalko, E. (2014). Driving factors for the evolution of species-specific echolocation call design in New World free-tailed bats (Molossidae). *PLoS ONE*, 9, e85279. doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0085279>
- [11] Norberg, U. M., & Rayner, J. M. (1987). Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): Wing Adaptations, Flight Performance, Foraging Strategy and Echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, Biological Sciences*, 316(1179), 335–427. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.1987.0030>

### CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Javier Fernández de Córdova, Carlos Niveló-Villavicencio y Pedro X. Astudillo identificaron el espécimen, revisaron los registros de distribución y escribieron el manuscrito.