

# Revista CIENCIA

## EDITOR

### **Roberto Aguiar Falconí**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador  
e-mail: raguiar@espe.edu.ec

## COMITÉ EDITORIAL

### **A.H. Barbat**

E.T.S. Ingenieros de Caminos y Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Cantuña  
Campus Norte UPC, 08034.

### **J. L. Almazán**

Escuela de Ingeniería  
Pontificia Universidad Católica de Santiago  
Santiago de Chile

### **L. Córdova**

Facultad de Ciencias y Humanidades  
Universidad del Valle de Guatemala  
Guatemala.

### **P. Dechent**

Escuela de Ingeniería  
Universidad de Concepción  
Concepción, Chile

### **S. Fernández**

Academia de Estructuras  
Instituto Politécnico Nacional  
México D.F.

### **P. Caiza**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador

### **C. Genatios**

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad Central de Venezuela  
Caracas, Venezuela.

### **A. Koch**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador.

### **M.E. Medina**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador.

### **M- Lafuente**

Instituto de Materiales y Modelos Estructurales  
Universidad Central de Venezuela  
Caracas, Venezuela.

### **W. Pozo**

Centro de Investigaciones del IASA  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador.

### **M. Romo**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador.

### **J. M Ruiz**

Facultad de Construcciones  
Departamento de Ingeniería Civil  
Universidad de Oriente  
Santiago de Cuba, Cuba.

### **S. Ruiz**

Instituto de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México  
México D.F.

### **F. Williams L.**

Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana  
Veracruz, México.

### **J. Ortiz**

Centro de Investigaciones del IASA  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador.

## FORMATO DE TEXTO

### **Juan G. Castillo Sagbay**

### **María B. Pazmiño Terán**

Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Valle de los Chillos, Ecuador

ISSN 1390-1117

©2011 ESPE, Quito, Ecuador

*Revista*

## CIENCIA

### Sumario

Volumen 15, número 1, 2013

<b>Efecto de los hongos micorrícicos arbusculares y <i>Pseudomonas fluorescens</i> en el control de <i>Meloidogyne spp.</i> en plantas de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)</b> Guido Daniel Orrico, Santiago Miguel Ulloa y María Emilia Medina	1
<b>Análisis estructural de fallas geológicas y potenciales deslizamientos en Anconcito, provincia de Santa Elena</b> Kervin Chunga	11
<b>Reducción de los efectos de torsión en un edificio irregular con la incorporación de aisladores de base</b> Roberto Aguiar Falconí, Juan Castillo Sagbay y Belén Pazmiño Terán	23
<b>Extractos de pituitaria de tilapia y su valoración biológica in vitro</b> J. Ortiz, D. Muñoz, J. Giacometti, y L. Valladares	35
<b>Efecto de la interacción de hongos micorrícicos arbusculares y <i>Pseudomonas fluorescens</i> sobre el desarrollo y la nutrición de plántulas de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)</b> Elsa Johana Echeverría, Lourdes Karina Ponce, María Emilia Medina	45
<b>Modelo geométrico del foco del sismo de Baeza, Napo- Ecuador 1987 a partir de datos macro sísmicos</b> Roberto Aguiar Falconí y Katyuska M. Sangurima Reinoso	53
<b>Efecto de la inoculación combinada de hongos micorrícicos arbusculares y <i>Pseudomonas putida</i> en plantas de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) infectadas con <i>Meloidogyne spp.</i></b> Ramírez Ibeth Fernanda, Ulloa Santiago Miguel, Medina María Emilia	75
<b>Jornadas de Investigación Científica</b> Pazmiño Terán María Belén	87

Revista Semestral de la Escuela Politécnica del Ejército Quito, Ecuador.

**Revista Indexada a LATINDEX**

ISSN 1390-1117

© 2013 ESPE, Quito – Ecuador

ESPE, Quito – Ecuador

# **EFECTO DE LOS HONGOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES Y *PSEUDOMONAS FLUORESCENS* EN EL CONTROL DE *MELOIDOGYNE SPP.* EN PLANTAS DE TOMATE DE ÁRBOL (*SOLANUM BETACEUM*)**

**Orrico Guido Daniel<sup>(1)</sup>, Ulloa Santiago Miguel<sup>(2)</sup>, Medina María Emilia<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Laboratorio de Microbiología del Suelo  
Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Sangolquí, Ecuador.

<sup>(2)</sup>Carrera de Ingeniería Agropecuaria  
Escuela Politécnica del Ejército  
Santo Domingo, Ecuador

## **RESUMEN**

El presente trabajo se planteó con el objetivo de evaluar un método alternativo de control de nematodos agalladores de raíces (*Meloidogyne*) a través del uso de hongos micorrícicos y *Pseudomonas fluorescens*. Para la realización de este ensayo, se emplearon microorganismos aislados de cultivos orgánicos de tomate de árbol y que fueron reproducidos en condiciones de laboratorio. Se seleccionaron dos cepas de *P. fluorescens* en base a la producción de ácido cianhídrico como mecanismos de control de *Meloidogyne*. Ambas cepas fueron posteriormente inoculadas en las raíces de plantas de tomate de árbol, en forma simple y en combinación con los HMA. Se analizaron los efectos de ambos microorganismos sobre la infección de nematodos en raíces y en el desarrollo vegetal. Los resultados obtenidos comprobaron la eficacia de la co-inoculación con la cepa 1 (Z3P1) para reducir los daños producidos por el nematodo y simultáneamente, estimularon un desarrollo considerable del sistema radical y la biomasa aérea en las plantas infectadas. Además, se obtuvieron evidencias de la capacidad que poseían ambas cepas bacterianas junto con los HMA para reducir el desarrollo de los nematodos y estimular la proliferación y colonización bacteriana y micorrícica.

## **ABSTRACT**

The present research evaluated an alternative method of biocontrol for the root-knot nematodes through the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and *Pseudomonas fluorescens* from the root of tree tomato. To perform this test, we used isolates organic tomato crop tree, which were subsequently reproduced in laboratory conditions. A selection was made of the most suitable strains of *P. fluorescens* for biocontrol, through biochemical tests that allowed select two hydrocyanic acid producing strains, which were then inoculated into the roots of tomato plants, separately and in combination of AMF, analyzing their effects on nematode infection in plant development and pathogen reproductive capacity in roots. The results proved the effectiveness of the co-inoculation between the strain 1 (Z3P1) and AMF to counteract the influence of the nematode and stimulate considerable development of the root system and shoot biomass in infected plants. Control evidence was obtained of the ability that both strains showed together with AMF to reduce knot formation and nematode population per gram of root, while simultaneously stimulated spore proliferation, mycorrhizal and bacterial colonization.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales generados por la actividad agrícola convencional han llevado a la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan obtener los mismos resultados sin el uso de plaguicidas convencionales. Los esfuerzos por reemplazar las técnicas tradicionales de control de plagas, han impulsado a los investigadores a experimentar con organismos vivos y sus productos, como alternativas con menores consecuencias para el medio ambiente. (Atlas *et al.* 2001).

El concepto de control biológico, involucra el uso de organismos vivos para el control de una plaga específica. El organismo control puede trabajar como un depredador, patógeno o compitiendo con el agente causante de la enfermedad. Las investigaciones desarrolladas en biocontrol, han demostrado el potencial que poseen diversos microorganismos del suelo sobre una gran cantidad de patógenos vegetales (Smith y Collins 2007). En el suelo, la región comprendida entre el sistema radicular de una planta y los microorganismos que habitan alrededor de esta, recibe el nombre de rizósfera. Su importancia para la planta radica en la variedad de interacciones ocurridas con los organismos presentes, muchas de estas funciones traen beneficios tanto para la planta como para el microorganismo involucrado. La actividad microbiana en la rizósfera, modifica constantemente las propiedades químicas del suelo, transformando los nutrientes en formas más asimilables para la planta y en otros casos, secreta sustancias que afectan el desarrollo vegetal. Estos organismos también se relacionan entre sí, a través de interacciones benéficas en unos casos, o compitiendo por los mismos recursos en otros (Atlas *et al.* 2001).

Una de estas interacciones, formada por los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y la porción radical de más del 90% de especies vegetales, ha sido ampliamente estudiada. Esta simbiosis conocida como micorriza ha demostrado ser un fenómeno con gran potencial para la agricultura, ya que presenta beneficios nutricionales, al facilitar la absorción de nutrientes y la inducción de resistencia a enfermedades y en el aumento de la tolerancia a condiciones ambientales extremas (Smith y Read, 1997). Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son otro grupo de microorganismos rizosféricos de gran interés para la agricultura, ya que benefician al desarrollo y nutrición vegetal. Además han demostrado poseer propiedades importantes como agentes de control biológico contra muchos patógenos. El género *Pseudomonas*, es uno de los grupos de PGPR más estudiados en la actualidad, ya que es un género ampliamente distribuido en los suelos del planeta (Mandigan, *et al.*, 2003). Dentro de las investigaciones realizadas, *Pseudomonas fluorescens* encabeza la lista de especies analizadas como agente de control biológico, debido a su capacidad para colonizar la rizósfera de un amplio rango de especies vegetales, y porque posee un metabolismo versátil, que le permite ser cultivada sin dificultades. Los ensayos que se han realizado sobre diversas cepas de esta especie para control biológico, han demostrado su eficacia contra una gran variedad de patógenos (Atlas *et al.* 2001). Una de las plagas más representativas a nivel mundial está causada por nematodos agalladores de raíces del género *Meloidogyne*. Estos parásitos habitan casi todos los suelos del planeta y afectan indistintamente alrededor del 90% de especies de interés agrícola (Siddiqi, 2000). Los ensayos realizados con PGPR, particularmente con *P.fluorescens*, al igual que con HMA, han comprobado que estos microorganismos son capaces de controlar la infección, atenuando los efectos del ataque de este nematodo en las raíces de las plantas y disminuyendo el desarrollo y reproducción de las larvas. Estos dos especies, al trabajar en conjunto, han logrado aumentar los efectos, en comparación con otras PGPR (Siddiqui y Mahmood, 2001).

Aunque se han realizado diversos estudios que comprueban la eficacia de ambos microorganismos como agentes de control contra *Meloidogyne*, no se han reportado ensayos que evalúen los efectos en tomate de árbol. La incidencia de los nematodos noduladores de raíces en el cultivo de tomate de árbol es tal, que es apremiante el desarrollo de una metodología que minimice los efectos que producen los nematodos, evitando el uso de pesticidas que han dañado la microbiota natural beneficiosa para el suelo (León, *et al.*, 2004; MAGAP, 2011).

Ante esta problemática se planteó este ensayo con el objetivo de evaluar los efectos de la inoculación combinada de HMA y *P. fluorescens* en plantas de tomate de árbol infectadas con nematodos.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Selección del material vegetal.**

Las plantas de tomate de árbol de la variedad “amarilla” empleadas en el ensayo, fueron obtenidas de la empresa Agrobiotech, Sangolquí. Estas fueron germinadas *in vitro* a partir de semillas y se aclimataron a sustrato estéril.

### **2.2 Material biológico**

#### **Obtención del inóculo de hongos micorrícicos arbusculares**

Los HMA fueron aislados a partir de muestras de suelo provenientes cultivos orgánicos de tomate de árbol. Estas muestras fueron procesadas por la técnica de tamizado húmedo propuesta por Genderman y Nicholson, citado y modificada por Herrera *et al.* (2004). En las fracciones obtenidas del procesamiento de suelo se aplicó la técnica de tamizado y centrifugación para la extracción de esporas de HMA. Las esporas aisladas fueron sembradas en las raíces de plantas recién germinadas de cebada, a razón de 20 esporas por planta, en arena de río esterilizada, en cajas Petri durante un mes. Se realizó un total de 30 cultivos, sometidos a luz solar indirecta. Posteriormente, los cultivos fueron trasladados a macetas con un sustrato estéril compuesto de tierra negra (50%), turba (25%) y cascarilla de arroz (25%), donde se sembraron semillas de cebada y se mantuvieron a temperatura ambiente con un fotoperíodo de 12 horas de luz fluorescente durante 3 meses.

#### **Obtención del inóculo de *Pseudomonas fluorescens***

De las cepas de *P. fluorescens* previamente aisladas de la rizósfera de cultivos de tomate de árbol en el Laboratorio de Microbiología del Suelo, se seleccionaron las cepas bacterianas por la producción de ácido cianhídrico, según la técnica propuesta por Lorck (1948). La prueba realizada permitió la selección de dos cepas potencialmente aptas como agentes de control biológico contra *Meloidogyne*, a través de la producción de HCN.

#### **Obtención de nematodos agalladores de raíces (*Meloidogyne spp.*)**

Los nematodos aplicados en el ensayo fueron aislados de cultivos de tomate de árbol que presentaban los síntomas característicos de la enfermedad. Para la identificación del género *Meloidogyne*, se identificaron patrones morfológicos de macho y hembras. El aislamiento de estos microorganismos se realizó a través de la técnica de tamizado propuesta por Hooke (1970) citado por Zuckerman, *et al.* (1985). Para la posterior inoculación de este parásito, se propagó en plantas de tomate riñón var. “Sheila-Victory” cultivadas en macetas individuales, con sustrato estéril compuesto por: tierra negra (50%), turba (25%) y cascarilla de arroz (25%). Este cultivo fue mantenido por un período de 50 días para conseguir un número adecuado de parásitos para el ensayo final.

### 2.3 Diseño del ensayo

Se empleó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2x3x2, el factor A correspondiente a la dosis esporas de HMA (M0: control con 0 esporas/g y M1 con una concentración 15 esporas/g). El factor B con las dos cepas de *Pseudomonas fluorescens* (P0: control con 0 UFC/ml, P1: Cepa 1 en una concentración de 1.5E+8 UFC/ml y P2: cepa 2 en una concentración de 1.5E+8 UFC/ml). El factor C que representa a la dosis de *Meloidogyne* (N0 o control con 0 juveniles/ml). Cada planta de tomate de árbol fue tomada como una unidad experimental, obteniendo en total 12 repeticiones por cada tratamiento, es decir que el ensayo estuvo constituido por un total de 144 plantas.

### 2.4 Montaje del ensayo final

Este ensayo tuvo una duración de 90 días a partir del trasplante de plantas de tomate. Las plantas fueron mantenidas en una cámara de crecimiento, en donde se les suministró solución de Hewitt durante 30 días. El sustrato empleado estuvo compuesto de tierra negra (50%) turba (25%) y arena de río (25%), esterilizadas por medio de calor húmedo (a 120°C y 15psi durante 15 minutos). Se adicionaron 140 gramos de inóculo micorrícico con una concentración de 15 esporas por gramo. Se inocularon 20 ml de las cepas de rizobacterias 30 días después del trasplante con una concentración de  $1.5 \times 10^8$  células/ml. Para los tratamientos que no poseen bacterias, se aplicó con solución salina estéril al 0,85% de NaCl. Los nematodos cultivados en las plantas de tomate riñón, fueron extraídos a través de la técnica de macerado y filtrado para alcanzar una concentración aproximada de 200 nematodos/ml en agua destilada estéril, alcanzando 2000 nematodos por planta. Las plantas fueron infectadas con nematodos 60 días después del ensayo.

### 2.5 Evaluación de las variables

Las variables de respuesta fueron tomadas al finalizar el ensayo 90 días después de su inicio. La medición de la altura, perímetro, área foliar, peso aéreo y radical correspondieron a la evaluación del desarrollo vegetal de las plantas. El porcentaje de agallamiento fue calculado por medio de la técnica propuesta por Baker (1985) citado por Zuckerman, *et al.* (1985). Para evaluar la población de nematodos juveniles se aplicó la técnica de propuesta por Hooke (1987). En el conteo de la población bacteriana que colonizó la raíz, se aplicó la técnica de conteo en placa de las unidades formadoras de colonias (UFC). El sustrato resultante del ensayo, fue procesado por la técnica propuesta por Genderman y Nicholson, modificada por Herrera *et al.*, 2004 y a continuación se realizó la extracción de las esporas de HMA, empleando el método de tamizado y centrifugación. Para el cálculo del porcentaje de colonización se empleó la técnica propuesta por Phillips & Hayman (1970).

### 2.6 Análisis estadísticos

Los datos obtenidos en el desarrollo vegetal fueron analizados a través de un análisis de varianza (ANOVA) con una comparación de medias aplicando la prueba LSD de Fisher (95 % de confianza).

En la cuantificación de la población de nematodos se calcularon las siguientes variables: nematodos por gramos de raíz, población final por raíz y tasa de reproducción. Los datos fueron evaluados a través del análisis de varianza y LSD de Fisher al 95% de confianza.

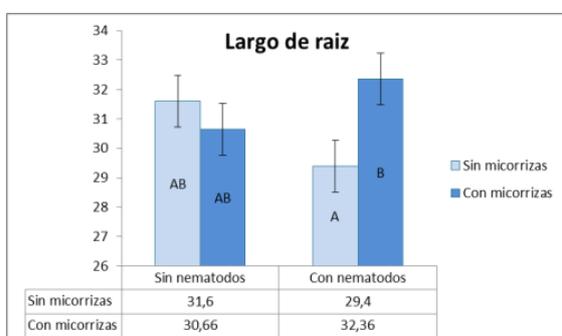
La evaluación de la simbiosis micorrícica se llevó a cabo analizando el número de esporas producidas por gramo de suelo y el porcentaje de colonización. El análisis de varianza y la prueba de Tukey, fueron empleados para el análisis de los datos.

Para analizar las concentraciones bacterianas obtenidas se aplicó una prueba de Tukey al 5% y análisis de varianza.

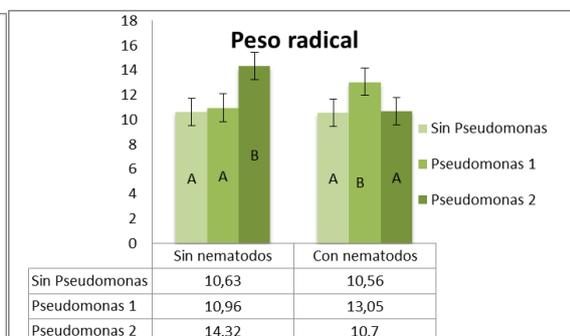
### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Evaluación del desarrollo vegetal

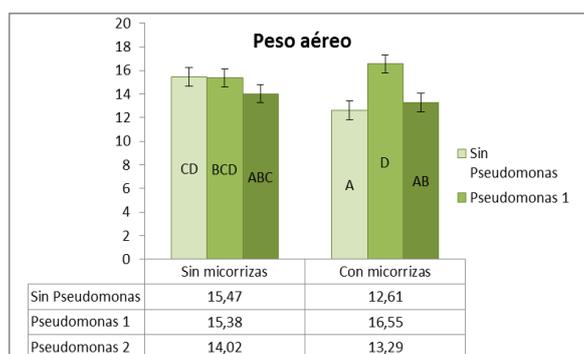
La prueba LSD de Fisher mostró un desarrollo significativo en el peso radical de las plantas infectadas por nematodos que fueron inoculadas con la cepa 1 (fig. 1). El largo de raíz fue estimulado significativamente solo por la inoculación con HMA en presencia de nematodos (fig. 2). En el peso aéreo, se observó que la inoculación conjunta de *P. fluorescens* (cepa 1) y HMA produjo un desarrollo significativo de las plantas infectadas por *Meloidogyne* (fig. 3) En las plantas sanas, la cepa 2 produjo un aumento significativo sobre el peso radical al compararlos con las plantas control (libres de microorganismos) (fig. 1).



**Figura 1.** Efecto de la interacción de *Pseudomonas* con nematodos en el peso radical.



**Figura 2.** Efecto de la interacción micorrizas con nematodos en el largo de raíz.

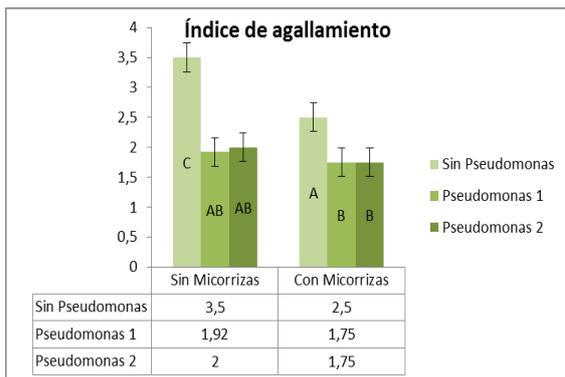


**Figura 3.** Efecto de la interacción de micorrizas con *Pseudomonas* en el peso aéreo.

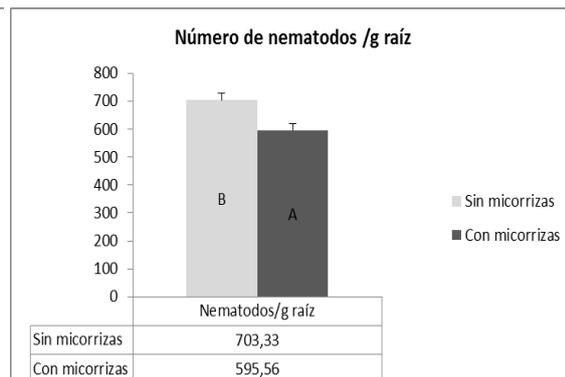
#### 3.2 Evaluación de la infección por *Meloidogyne*

Todas las plantas co-inoculadas con HMA y con las dos cepas bacterianas, desarrollaron los índices de agallamiento más bajos (fig. 4), corroborando que al igual que en el desarrollo vegetal, la inoculación conjunta atenúa los efectos producidos por los nematodos. La inoculación de HMA redujo significativamente el índice alcanzado por el tratamiento con nematodos, pero no consiguió alcanzar los niveles de la inoculación conjunta con *P.f* (fig. 4).

## 6 Orrico Guido Daniel, Ulloa Santiago Miguel y Medina María Emilia



**Figura 4.** Efecto en el índice de agallamiento de micorrizas con *Pseudomonas*.

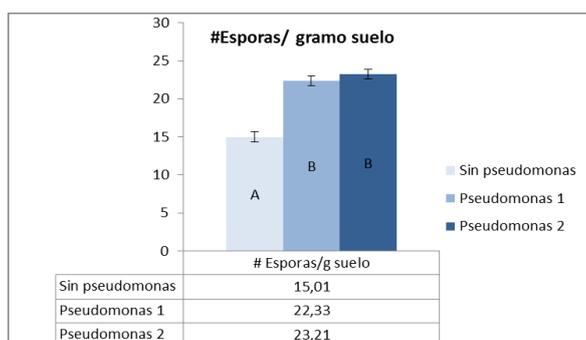


**Figura 5.** Efecto del factor micorrizas en el número de nematodos por gramo de raíz.

El número de nematodos calculado por gramo de raíz es una variable que disminuye con la adición de HMA. El tratamiento inoculado únicamente con nematodos presenta la mayor cantidad de estos parásitos (730/ gramo de raíz) comparándolo con los tratamientos que poseen la inoculación de micorrizas y bacterias que resultan significativamente inferiores (540/ gramo de raíz). No se observaron diferencias significativas entre tratamientos de la población final y la tasa de reproducción de *Meloidogyne*.

### 3.3 Evaluación de la colonización de hongos micorrícicos arbusculares

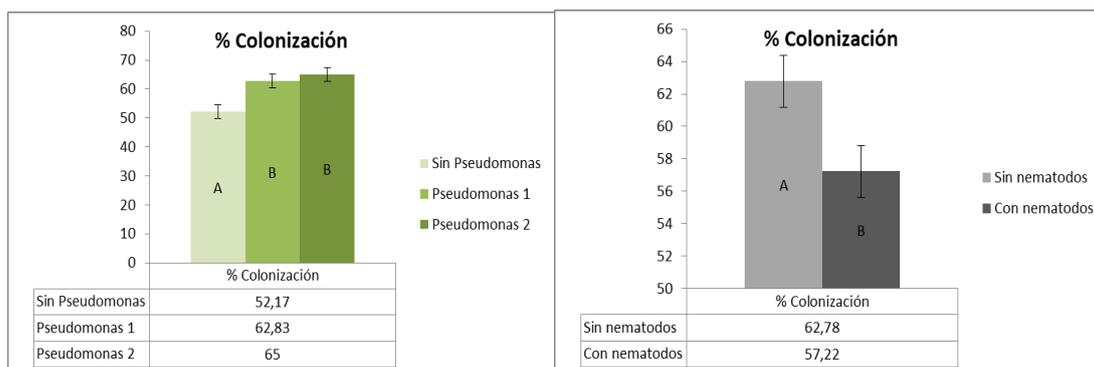
La inoculación combinada con cualquiera de las dos cepas estimuló significativamente a la esporulación de HMA, sin que la presencia de nematodos afecte a la producción de esporas micorrícicas, ya que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos inoculados y libres de parásitos (fig. 6).



**Figura 6.** Efecto del factor *Pseudomonas* en el número de esporas por gramo de suelo.

Los dos tratamientos que poseían la combinación de HMA con rizobacterias desarrollaron el mayor porcentaje de colonización (fig. 7) juntos fueron superiores estadísticamente a las plantas colonizadas solo con micorrizas. La combinación de HMA y *P.f.* mejora la colonización micorrícica, aunque no alcanza a contrarrestar el efecto de los nematodos, que afectan negativamente a las micorrizas, disminuyendo el porcentaje de colonización (fig. 8).

## Efecto de los hongos micorrícicos arbusculares y *Pseudomonas fluorescens*... 7

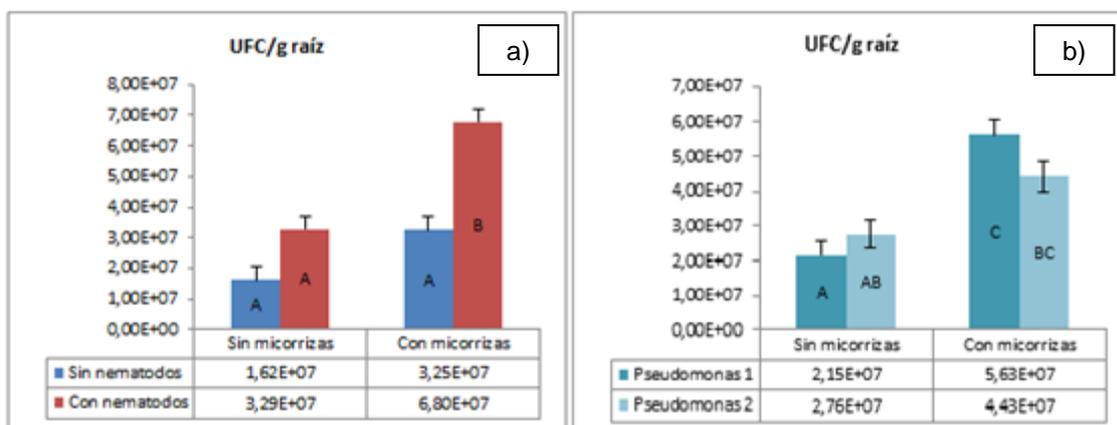


**Figura 7.** Efecto del factor *Pseudomonas* en el porcentaje de colonización de HMA.

**Figura 8.** Efecto del factor nematodos en el porcentaje de colonización de HMA.

### 3.4 Evaluación de la población de *Pseudomonas fluorescens*

Los análisis demostraron que tanto la inoculación de hongos micorrícicos como la presencia de nematodos produjeron diferencias significativas en la población de bacterias. Al analizar la interacción entre HMA y nematodos, se observó claramente que la presencia de los dos organismos aumentó significativamente el número de UFC (fig. 10a). La presencia de hongos micorrícicos estimuló significativamente la reproducción de la cepa 1 (fig. 10b).



**Figura 10.** Efecto en el conteo de UFC por gramo de raíz de los factores: a) Micorrizas con nematodos. b) Micorrizas con *Pseudomonas*

## 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

### 4.1 Evaluación del desarrollo vegetal de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

El análisis de varianza realizado en las variables de crecimiento reveló la influencia de la cepa 1 de *P. fluorescens* en el crecimiento vegetal en las plantas infectadas con *Meloidogyne*. En el peso radical, se observa la significancia que tuvo la interacción entre *Pseudomonas* y nematodos, confirmando los efectos de la cepa 1 sobre la infección de *Meloidogyne* y la influencia en el crecimiento que tuvo la cepa 2 en las plantas sanas (fig. 1). Al

## 8 Orrico Guido Daniel, Ulloa Santiago Miguel y Medina María Emilia

evaluar el peso aéreo se observa que aunque la presencia de nematodos redujo significativamente el peso aéreo de todas las plantas infectadas. La cepa 1 controló efectivamente al parásito produciendo un crecimiento considerable de la biomasa aérea (fig. 3). La interacción de HMA y *Pseudomonas* (cepa 1) demostró ser muy útil en el control de *Meloidogyne* estimulando el desarrollo aéreo en todas las plantas. Estos análisis sugieren que la cepa 1 (Z3P1) posee mayor eficacia en comparación con la cepa 2 para contrarrestar la infección por nematodos agalladores en el desarrollo vegetal, probablemente debido a que la producción del HCN podría alcanzar niveles superiores en esta cepa. El HCN es un metabolito con propiedades nematocidas, capaz de atenuar la reproducción e infección de *Meloidogyne* (Siddiqui *et al* 2005 ; Siddiqui, *et al.* 2006).

En el caso de los HMA, se observó que estos impulsaron el desarrollo de la biomasa radical tanto en plantas sanas como enfermas. En cuanto a la longitud, al analizar la interacción entre HMA y *Meloidogyne*, se observó que los hongos permiten un mejor crecimiento longitudinal de las raíces bajo los efectos de *Meloidogyne*, que aquellas libres de HMA que poseían parásitos (fig. 2).

### 4.2 Evaluación de la infección por *Meloidogyne*

La combinación de HMA con las cepas bacterianas redujo el índice agallamiento de forma significativa en comparación con la inoculación simple con HMA. Cabe agregar que todos los tratamientos que incluían microorganismos benéficos redujeron el índice de agallamiento de forma significativa con respecto tratamiento que solo poseía nematodos. Entre los efectos reportados de las asociaciones entre HMA y *P. fluorescens* contra nematodos agalladores, se ha observado la reducción en la capacidad reproductiva de estos parásitos, reflejada en la disminución de la cantidad de huevos producidos como en la supervivencia de los juveniles capaces de infectar las raíces debido a la producción de HCN (Siddiqui y Mahmood, 1997; Moens, *et al.*, 2001; Mahmood, *et al.*, 2011). Es probable que nuestras cepas, posean efectos tóxicos producidos por el mismo metabolito, que disminuyeron la población de nematodos por gramo de raíz. La presencia de ambos microorganismos benéficos estimula el desarrollo radical y al mismo tiempo reduce el número de nematodos. Si bien este efecto se puede observar en los tratamientos que solo llevan la inoculación simple de cada microorganismo es mayor en los tratamientos co-inoculados.

### 4.3 Evaluación de la colonización de hongos micorrícicos

La colonización micorrícica, al igual que la producción de esporas, fue estimulada por la presencia de *Pseudomonas*. Ambas cepas influenciaron en todos los tratamientos que poseían la co - inoculación con HMA. Por otra parte, se ha descrito que *P. fluorescens* es capaz de producir enzimas que suavizan la corteza radical, facilitando el ingreso del micelio micorrícico y aumentando el grado de colonización. Esta especie bacteriana produce una serie de metabolitos que estimulan la esporulación de HMA, influenciando tanto el crecimiento del micelio como la reproducción de hongos micorrícicos (Linderman 1992; Muthula, *et al.*, 2010; Smith y Read, 2007). Aunque no se observó que la infección de *Meloidogyne* afecte a la cantidad registrada de esporas producidas, sí se encontraron efectos negativos en cuanto al porcentaje de colonización, mostrando que los nematodos fitoparásitos redujeron la colonización micorrícica de forma considerable en todos los tratamientos. Varios autores que confirman este resultado (Siddiqui y Mahmood, 1997, Siddiqui y Mahmood, 2001; Siddiqui *et al.*, 2005) sugieren que en este fenómeno, los nematodos infectan raíces y producen el ensanchamiento del tejido radical, con la formación de los nódulos que impedirían que se produzca la colonización micorrícica.

#### 4.4 Evaluación de la población de *P. fluorescens*

Tanto la micorrización como la infección de nematodos estimularon la reproducción bacteriana. Las raíces de las plantas inoculadas con los tres microorganismos poseían las poblaciones más elevadas de UFC por gramo de raíz, siendo la cepa 1 (Z3P1) la de mayor crecimiento. La micorrizósfera provee de un ambiente propicio para la proliferación de esta especie bacteriana, a través de la producción de ácidos orgánicos volátiles, fijación de nitrógeno y solubilización de fósforo, comprobando los beneficios que aporta la interacción de HMA y bacterias promotoras de la micorrización (Linderman, 1992).

### 5 RECOMENDACIONES

Se recomienda el desarrollo de ensayos (en condiciones controladas de invernadero) con mayor número de repeticiones para determinar los efectos en el crecimiento y la producción en plantas de tomate de árbol tratadas con la combinación de microorganismos benéficos e infectados de *Meloidogyne*. Adicionalmente se sugiere determinar las especies de *Meloidogyne* que atacan al tomate de árbol, para realizar ensayos específicos de control biológico.

Se deberían utilizar diferentes mezclas de sustratos para evaluar la influencia del suelo sobre la interacción de los microorganismos benéficos en el desarrollo vegetal, como en la infección y la reproducción de *Meloidogyne*. El análisis de la concentración de nutrientes en las plantas y sustrato permitiría evaluar cómo afectan estos microorganismos a la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

### REFERENCIAS

1. Atlas. R. y Bartha R (2001) Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental. Person Education, España. pp: 101-106.
2. Herrera-Peraza R., Furrázola E, Ferrer R., Fernández R. y Torres Y. (2004). Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario. Cuba. Revista CENIC. Ciencias Biológicas. 35: 113-123.
3. León J., Viteri P. y Cevallos G. (2004). Manual del cultivo de tomate de árbol. Estación Experimental Santa Catalina - Programa de Fruticultura Granja Experimental Tumbaco. Quito – Ecuador.
4. Linderman L. (1992). VA Mycorrhizae and Microbial Interactions. VA Mycorrhizae in Sustainable Agriculture
5. Lorck H. (1948). Production of hydrocyanic acid by bacteria. Physiologia Plantarum 1: 142-146.
6. MAGAP, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2011). Análisis Sectorial Ecuador. En línea: [http://www.magap.gob.ec/sinagap/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&itemid=414](http://www.magap.gob.ec/sinagap/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&itemid=414).
7. Mahmood I., Shafi A. y Rizvi R. (2011). Interaction between *Pseudomonas fluorescens* and *Meloidogyne incognita* on Tomato Plant as Influenced by the Different Levels of Phosphorus. Archives of Phytopathology And Plant Protection. pp: 993 – 1000.
8. Mandigan M., Martinko J. y Parker J. (2003). Brock: Biología de los microorganismos, 10ma. edición. Prentice Hall.

## 10 Orrico Guido Daniel, Ulloa Santiago Miguel y Medina María Emilia

9. Moens M., Perry R. y Starr J. (2001). *Meloidogyne Species – a Diverse Group of Novel and Important Plant Parasites Root- Knot Nematodes*. Cab International. USA. pp: 1-13.
10. Muthula M., Devrajan K. y Jonathan E. (2010). Biocontrol of Root Knot Nematode, *Meloidogyne incognita* (kofoid and white) chitwood in Mulberry (*Morus alba* L.). *Journal of Biopesticides*. pp: 479 – 482. En línea: [http://www.jbiopest.com/users/lw8/efiles/muthulaxmi\\_v32.pdf](http://www.jbiopest.com/users/lw8/efiles/muthulaxmi_v32.pdf).
11. Phillips J. y Hayman D. (1970). Improved procedures for clearing roots and taining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
12. Siddiqui M., (2000) *Tylenchida: Parasites of Plants and Insects*. 2da edición. Cabi Publications.
13. Siddiqui I., Haas d. y Heeb S. (2005) Extracellular Protease of *Pseudomonas fluorescens* CHA0, a Biocontrol Factor with Activity against the Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita*. *Applied and Enviromental Microbiology*.
14. Siddiqui I., Shaukat S., Sheikh I. y Khan A. (2006). Role of cyanide production by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 in the suppression of root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* in tomato. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 22: 641–650.
15. Siddiqui Z. y Mahmood I. (1997). Interaction of *Meloidogyne javanica*, *Fusarium solani* and Plant Symbionts on Chickpea. *Thai Journal of Agricultural Science*. pp: 379-388.
16. Siddiqui Z. y Mahmood I. (2001). Effects of rhizobacteria and root symbionts on the reproduction of *Meloidogyne javanica* and growth of chickpea. *Bioresource Technology*. 79: 41–45.
17. Smith J. y Collins H. (2007). *Management of Organisms and Their Processes in Soils Soil microbiology and biochemistry*. Elsevier. pp: 488-492.
18. Smith S. y Read, D. (1997). *Mycorrhizal Symbiosis*, 2da edición. Academic Press. Londres.
19. Zuckerman B., Mal W. y Harrison M. (eds) (1985). *Fitonematología: Manual de Laboratorio*. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE).
20. Phillips J. y Hayman D. (1970). Improved procedures for clearing roots and taining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid.

# ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE FALLAS GEOLÓGICAS Y POTENCIALES DESLIZAMIENTOS EN ANCONCITO, PROVINCIA DE SANTA ELENA.

**Kervin Chunga<sup>(1)</sup>**

<sup>(1)</sup>Centro de Investigaciones de Geociencias  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería UPSE  
Campus La Libertad, vía principal Santa Elena – La Libertad  
La Libertad-Ecuador  
kervin.chunga@gmail.com

## RESUMEN

El sector costero de Anconcito es afectado por fenómenos geológicos de corta duración: desprendimientos de bloques en los bordes de los acantilados causados por la dinámica de la erosión marina, y deslizamientos de estratos rocosos a través de planos lístricos de fallas de tipo normal con componentes de desplazamientos laterales dextrales. El análisis estructural permitió definir el ambiente tectónico dominante con movimientos transtensivos asociados a esfuerzos de tracción. El sitio comunal “2 de febrero” es afectado por estos rasgos geológicos. Dos eventos significativos causaron daños en viviendas y redes eléctricas, el 12 de agosto de 2010 y el 7 de abril de 2011. Un análisis estructural de las fallas geológicas y morfometría del terreno permitieron estimar que 306.305 m<sup>3</sup> pueden deslizarse a través de 3 planos lístricos de fallas de tipo normal influenciando directamente en un área de 14.585, 96 m<sup>2</sup>.

Los factores que pueden incrementar la tasa de velocidad del deslizamiento pueden ser: la alta precipitación y la recurrencia de terremotos locales con magnitud moderada  $M_w \approx 5$  o el arribo de amplificaciones de ondas sísmicas desde terremotos lejanos con  $M_w > 7$ . Otro factor importante es la erosión marina sobre los estratos más blandos de los acantilados. En conclusión, el sector de Anconcito debe ser motivo de un análisis detallado que permita establecer técnicas adecuadas para la recuperación de zona de playa y construcción de espigones que permitirán disminuir la alta energía de las ondas marinas.

## 1 INTRODUCCIÓN

Con fecha 20 de agosto de 2010, la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) inició el estudio de vulnerabilidad costera en el sector urbano “2 de Febrero” en Anconcito, provincia de Santa Elena. La finalidad de este estudio surgió del evento de deslizamiento del 12 de agosto de 2010 y de la problemática de asentamientos urbanos en sitios no adecuado para la construcción y de alto riesgo geológico. Rasgos como formación de grietas en el terreno y desprendimiento de estratos de rocas en los acantilados costeros de Anconcito son indicios de inestabilidad del talud.

Un primer reporte preliminar fue realizado el 27 de agosto de 2010, en el que se estimó que: el área vulnerable involucra parte del sector poblado “2 de Febrero”. Desde un punto de vista de la geología estructural, esta área es delimitada por tres planos de fallas de tipo normal, donde el área de influencia directa alcanza los 14.585 m<sup>2</sup>; y el volumen de material que puede desplazarse a través de los planos de fallas alcanzarían los 306.305 m<sup>3</sup>.

Modelos digitales del terreno evidencian planos de deslizamientos desde la base del acantilado hasta la vía pavimentada del barrio “2 de Febrero”.

## **12 Kervin Chunga**

Confirmando nuestro primer análisis geológico, un segundo evento aconteció a las 06h50 del 07.04.2011. El deslizamiento de estratos rocosos cambió bruscamente la morfología del terreno y permitió el colapso de viviendas e instalaciones de alumbrado eléctrico. Un segundo reporte, describiendo los efectos en el terreno, fue sido presentado el 08 de agosto de 2011 a las instituciones gubernamentales involucradas en la gestión de riesgos.

Este estudio no describe la cantidad de personas afectadas y re-ubicadas por parte de las entidades estatales pertinentes; sin embargo, hace referencia a las familias que aún se encuentran asentadas en el área crítica de desarrollo del fenómeno geológico, motivo principal por el cual la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y el Centro de Investigaciones de Geociencias inició medidas estructurales en el terreno y presentó los primeros resultados que indican las dimensiones reales y volúmenes de masas rocosas que se están desplazando a lo largo de tres principales y críticos planos de fallas geológicas de tipo normal. Además, este artículo contiene detalles de la evolución paisajística del sector “2 de Febrero” y del nivel de riesgo por la dinámica de erosión marina, que presenta esta franja costera de la provincia de Santa Elena.

## **2 OBJETIVO DEL TRABAJO**

Los principales objetivos de esta investigación son: identificar el ambiente tectónico de la franja costera de Anconcito desde el sitio de la escollera hasta el sector periférico del sitio urbano “2 de Febrero”; (2) identificar estructuralmente la cinemática y la geometría de las fallas geológicas aflorantes en los acantilados; (3) identificar los fenómenos geológicos potencialmente activos con efectos de daños a infraestructuras urbanas construidas en la parte alta de los acantilados; y (4) calcular el área de influencia directa y volumen del material que se está desplazando a lo largo de planos de fallas geológicas.

## **3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

Como alcances fundamentales se detallan los siguientes logros: Cálculo de volúmenes desplazados a lo largo de planos lítricos de fallas normales estimando a su vez la proyección de efecto en la superficie del terreno, delimitando así el área crítica; y mapas de ubicación de los fenómenos geológicos representados por mecanismos focales desde el análisis estructural de planos de fallas geológicas.

## **4 GEOLOGÍA LOCAL**

Durante la primera fase, se realizó un levantamiento geológico en la franja costera desde el sector de la escollera hasta los límites periféricos del sitio “2 de Febrero”, en Anconcito.

Un primer análisis, indica secuencias de estratos decimétricos de areniscas grauwáticas de clastos subangulares, intercalados por estratos laminados de arcillolitas y limolitas verdes grises afectadas por espejos de fricción observados en los afloramientos de los acantilados a lo largo de la estrecha zona de playa. Además la plataforma litoral está compuesta litológicamente por este último tipo de roca. Nuñez et al. (1983) indica que esta secuencia sedimentaria corresponde al miembro “Arenisca” Punta Ancón de la Formación Seca (edad Eoceno Superior) del Grupo Ancón.



**Figura 1.** Microfallas asociadas a desplazamientos transpresivos de deformación sin-sedimentaria. La secuencia aflorante en el talud de Anconcito evidencia sistemas de fracturas con inestabilidad en zonas de pendientes.

El Grupo Ancón agrupa tres formaciones geológicas: Clay Pebble Beds, Socorro y Seca (Smith & Williams, 1947), en Bristow & Hoffstetter, 1977). Sin embargo, otra división geológica ha sido propuesta por Garner (1956) que incluye dos formaciones y cuatro miembros:

Formación Seca:      Miembro Arenisca Punta Ancón  
                             Miembro Lutita Seca

Formación Socorro: Miembro Socorro  
                             Miembro Clay Pebble Bed

En este estudio y para definir al Grupo Ancón se ha adoptado las divisiones estratigráficas de Garner (1956), considerando que deslizamientos y fallas normales e inversas, debido a que dos fases tectónicas de hundimientos y levantamientos han producido inversiones estratigráficas en la cuenca Ancón.

En la localidad tipo Punta Ancón, aprox. 100 m de estratos suprayaciendo en contacto discordante sobre el precedente miembro Lutita Seca. Según Nuñez (1983), la litología es predominantemente areniscas grauwáticas con algunas capas arcillosas, conglomerados ligníticos (como los observados cerca del sitio escollera), capas calcáreas biohémicas y lutitas interestratificadas. En este miembro (Punta Ancón) se incluye una arenisca blanca localmente brechosa de ceniza volcánica que aflorando en la zona de Punta Ancón. Según evidencias de foraminíferos planctónicos y radiolarios que ocurren en las lutitas interestratificadas la edad es parecida a la del Miembro Seca, es decir Eoceno superior (ie. Bristow & Hoffstetter, 1977).

Estructuralmente, en los afloramientos de los acantilados de Anconcito se evidencian estructuras plegadas “flame” y “convolucionadas” asociadas a microfallas inversas de deformación sin-sedimentaria por desplazamientos laterales transpresivos. No obstante, la tectónica actual indica otro mecanismo post-deformacional asociado a desplazamientos transtensivos caracterizados en el terreno por fallas normales con componentes dextrales y sinestrales. Estas últimas son de interés técnico en el presente estudio, debido a los deslizamientos de masas de rocas a lo largo de estos planos de fallas con dirección hacia el S-SW están deformando y colapsando la superficie del terreno.

## 14 Kervin Chunga

Ciertamente, nuestro análisis geotécnico permitió identificar dos principales fenómenos geológicos asociados a la tectónica actual: desprendimientos en bloques en los bordes de los acantilados, y, los más críticos, deslizamientos de masas rocosas a lo largo de tres principales (ie. FP1-FP2-FP3) planos de fallas geológicas de tipo normal. Este último fenómeno es considerado el de más alto riesgo geológico para la comunidad del sector “2 de febrero” de Anconcito.



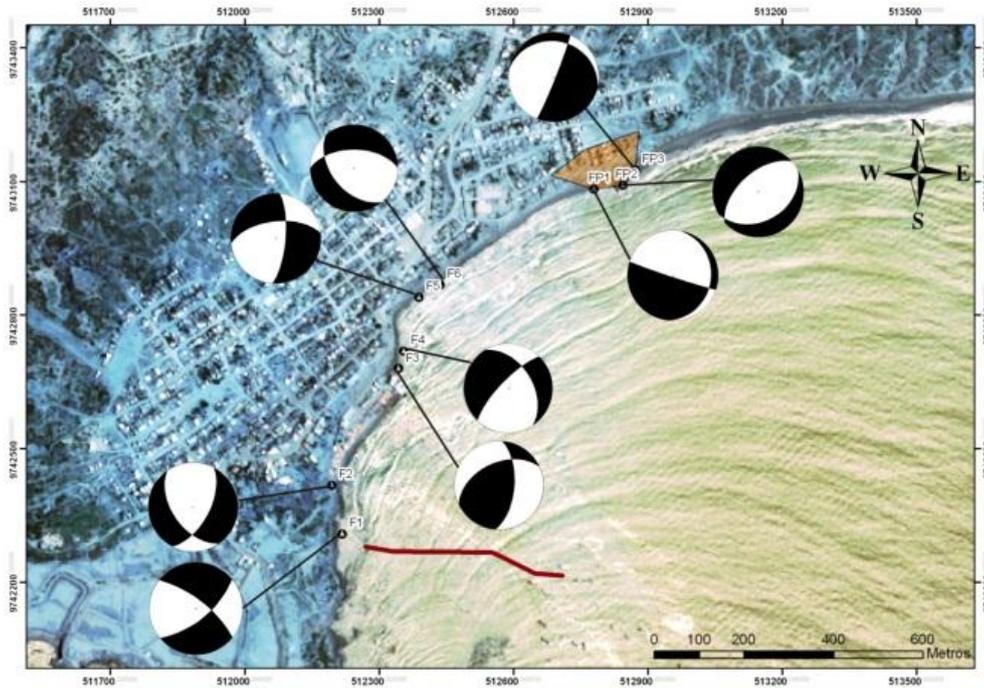
**Figura 2.** Sistemas de fallas geológicas capaces de deformar la superficie del terreno.

## 5 MECANISMOS FOCALES Y CAMPOS DE ESFUERZOS DE FALLAS GEOLÓGICAS

Como lo descrito en la sección 3, los mecanismos de deformación en las secuencias rocosas corresponden a dos episodios tectónicos de épocas diferentes, deduciendo en este estudio que las estructuras de pliegues y fallas inversas son asociadas a deformaciones sin-sedimentarias, ahora no activas y que pueden ser evidenciadas en los afloramientos de talud.

Con los primeros resultados obtenidos durante la primera fase de geología de campo, se permitió conocer la cinemática y geometría de nueve principales planos de fallas geológicas a lo largo del acantilado aflorante en la zona de playa, de las cuales todas tienen diferencias en sus tendencias estructurales y ocho de ellas son asociadas a movimientos transtensivos debido a los esfuerzos de tracción. Los datos estructurales son referenciados desde las estaciones F1-F2-F3-F4-F5-F6-FP1-FP2-FP3 (ver, Figura 7).

Las estructuras de fallas que podrían ser consideradas activas y asociada a la tectónica actual son caracterizadas por movimientos transtensivos y representados gráficamente en la Figura 6 por mecanismos focales con dominio de campo de tracción. Estos mecanismos fueron generados con el software “Faultkin”, donde los principales datos estructurales insertados son: rumbo, dirección de inclinación, ángulo de buzamiento y “Rake” dirección de fallas (indicados en la Figura 3). Este análisis corresponde a la fase de laboratorio y análisis estructural.



**Figura 3.** Imagen satelital de Anconito analizada en plataforma GIS. Localización de estaciones de muestreos y representación de mecanismos focales para cada falla geológica individualizada durante la fase de geología de campo y exploración. La línea roja representa la distribución espacial de la escollera.

Estos resultados técnicos indican la inestabilidad del área de estudio y la posibilidad de que componentes externos como altas precipitaciones o atenuaciones de ondas sísmicas aceleren la velocidad de deslizamiento de las masas rocosas del sitio. También son considerados, otros factores como las cercanas construcciones que emiten continuas vibraciones al terreno. De allí, la importancia de salvaguardar la integridad física de la comunidad afectada, y subsiguientemente la remoción de este material inestable, debido a que las rasgos evidenciados como grietas y planos de fallas (en abertura respecto a ambos bloques) no permiten una estabilización de talud.



**Figura 4.** Desprendimiento en bloques de estratos rocosos de areniscas grauwácicas intercalada con laminaciones de arcillolita.

## 6 CÁLCULO DE VOLUMEN DE MATERIAL ROCOSO DESLIZÁNDOSE A LO LARGO DE PLANOS DE FALLAS GEOLÓGICAS

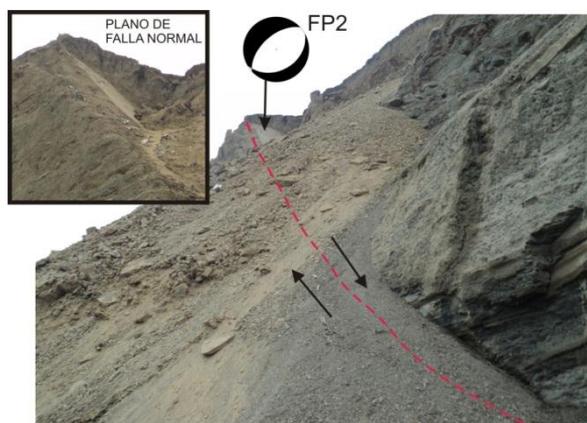
Desde la obtención de datos de georeferenciación y proyectando los tres planos de fallas normales identificadas en este estudio, se estima que el área directamente afectada para la comunidad "2 de Febrero" es de 14.585,96 m<sup>2</sup> de material rocoso fragmentado.

El volumen total estimado que puede deslizarse con dirección SSE a través de los tres planos de fallas es de 306.305 m<sup>3</sup>. Desde un punto de vista de la morfología, este tipo de deslizamiento puede ser clasificado como rotacional; sin embargo, es importante considerar la cinemática de las fallas geológicas presentes en el área (de allí la importancia de conocer las diferentes direcciones de esfuerzos de tracción), ya que son los principales planos de deslizamientos que están deformando y colapsando el terreno.



**Figura 5.** Evidencias de escarpes continuos de desprendimiento de bloques.

Estas estimaciones fueron realizadas desde datos de posicionamiento (GIS y Sistema de levantamiento altimétrico Estación Total), los cuales fueron distribuidos espacialmente a través de la aplicación del software ArcMap-GIS. De ese modo determinamos el área y volumen. Esta información permite conocer la dimensión de deformación y a su vez los resultados puedan ser complementados para un estudio más a detalle, en la cual se podría definir técnicas ingenieriles adecuadas, para construcciones de escolleras (ie. adherentes, tipo T, entre otras), deben ser posicionadas para la recuperación de zona de playas y disminuir la dinámica de erosión marina en la base de los acantilados, donde se pierde continuamente resistencia de carga e incrementa la velocidad de desplazamiento de masas rocosas.



**Figura 6.** Evidencia de un plano de falla normal donde se desplazan lístricamente estratos rocosos.

## 7 DESLIZAMIENTO DEL 07.04.2011

Como se indicó en la primera sección de este informe, el 07 de abril de 2011, a las 06h50, un nuevo deslizamiento aconteció en el sector "2 de Febrero". La dimensión del deslizamiento es mayor que el ocurrido en mayo 2010 y el 12 de agosto de 2010. En la Figura 7 se puede estimar la dimensión del material desprendido y su asentamiento al pie del acantilado.



**Figura 7.** Se puede observar la dimensión del deslizamiento hacia el pie del acantilado, en superficie es notable viviendas habitables que están dentro del área de influencia directa.

En la Figura 8. se puede observar el cambio brusco de la superficie del terreno. Las dimensiones de la tasa de desplazamientos aún están en movimiento hasta alcanzar los niveles de "asentamiento". Las grietas visiblemente alcanzan los 10 metros de profundidad; sin embargo, su tendencia estructural se acerca a la base del acantilado.



**Figura 8.** Grietas profundas alcanzan el metro de ancho y cerca de 10 metros de profundidad, producto del desprendimiento del 07.04.2011.

La delimitación del alcance de fractura o grieta no indica el límite más estable, como lo indicado en las bandas señaléticas en amarillo de "peligro". Al contrario, es urgente establecer medidas adecuadas y salvaguardar algunas familias que habitan en el área crítica (indicada como área de influencia directa de este fenómeno geológico y señalada también en el informe de la UPSE de agosto 2010).



**Figura 9.** Vista panorámica mostrando la dimensión del desprendimiento del acantilado y el colapso de estructuras edilicias.

Hasta ahora se han mencionado las evidencias y deformaciones del terreno en superficie. Sin embargo, en este artículo también se presentan las evidencias de fracturas por tensión en la base del acantilado (Figura 5). Estas fracturas son consecuencia de la pérdida de resistencia del talud que asociado a la alta tasa de erosión marina que socava las paredes y provocan una rápida inestabilidad y posterior colapso.



**Figura 10.** Fracturas por tensión en la base del acantilado.

La tendencia estructural del acantilado es de N235 y los estratos de las secuencias rocosas buzan o se inclinan 290/10 (al NW). Esta información nos indica que los estratos tienen dirección contraria a los planos de deslizamiento; entonces, el problema se incrementa con las fallas geológicas de tipo normal, paralelo a la dirección de la tasa de movimiento, que permiten la reactivación a lo largo de los planos de deslizamientos.



**Figura 11.** Material rocoso deslizado y desprendido en el sector "2 de Febrero".



**Figura 12.** Vía o acceso vehicular construido en Agosto y Septiembre de 2010, la foto indica que la obra no tuvo planes de prevención y selección de sitios adecuadas para construcción vial.



**Figura 13.** Fallamiento en el acantilado con desplazamientos transtensivos. Evidencia que indica una alta tasa de inestabilidad en el sitio "2 de Febrero".

## 8 CONCLUSIÓN

Estudios geológicos que permitan delimitar sectores no apropiados para construcciones viales no han sido realizados para el sector "2 de Febrero". Fenómenos de desprendimientos y deslizamientos de estratos rocosos ya eran evidentes entre los meses de mayo a agosto del 2010. En el mismo lapso de tiempo se iniciaban los trabajos viales con maquinarias pesadas sin considerar la carga estática y vibraciones transmitidas en el terreno.

La dinámica de erosión marina en los acantilados ha provocado socavamiento y pérdida de resistencia de los estratos más blandos, seguidos por desprendimientos de estratos rocosos y acumulación de material en la zona de playa.

Desde un punto de vista del análisis geológico estructural, el volumen total estimado que se ha deslizado el 07 de abril de 2011 es de  $61.175 \text{ m}^3$ ; sin embargo recordemos que el área crítica donde inter-actúan los tres planos de fallas es mayor a los  $306.305 \text{ m}^3$ .

El comportamiento geomecánico del deslizamiento es complejo. Por una parte, es de tipo rotacional y también son evidentes los desprendimientos de bloques de los acantilados, se ha considerado la cinemática de las fallas geológicas y de las fracturas de tensión presentes en el área (conociendo las diferentes direcciones de esfuerzos de tracción), ya que son los principales planos de deslizamientos que están deformando y colapsando el terreno.

Estos fenómenos geológicos son asociados a movimientos laterales transtensivos que se presentan previamente como grietas profundas evidenciadas en los escarpes de deslizamientos. Las velocidades de los desplazamientos pueden incrementarse por la infiltración durante altas precipitaciones en las estaciones de invierno, por moderados sismos locales  $M_w \approx 5$  o también por fuertes terremotos lejanos  $7 \leq M \leq 8.8$ . M, magnitud del sismo.

Localmente, los daños son evidentes en la superficie donde estructuras físicas (ie. viviendas, instituciones educativas, etc.) de concreto son cortadas desde sus bases, afectando directamente a 35 familias asentadas cerca del borde de acantilado hasta el límite externo de la vía en construcción.

## 9 AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el soporte logístico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a través de sus directivos los ingenieros Ramón Muñoz, Almir Álvarez y Juan Garcés. Igual agradecimiento al Sr. Carlos Zambrano por el levantamiento topográfico y al Ing. Jimmy Candell, rector de la UPSE.

## REFERENCIAS

1. Baldock, J.W., 1982. Geología del Ecuador: Boletín de la explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador, Esc. 1:1,000,000. Min. Rec. Nat. Energ., Quito, 10., Quito.
2. Baldock, J. W. (1983), The Northern Andes: A review of the Ecuadorian Pacific Margin, in *The Oceans Basins and Margins*, edited by A. E. M. Nairn, F. G. Stehli, and S. Uyeda, Plenum Press, New-York and London, 181– 271.
3. Bristow, C.R., Hoffstetter, R., 1977. *Lexique Stratigraphique, Amérique Latine*. Ed. CNRS, Paris, Fas. 5–2, Equateur: 410.
4. IAEA Safety Standards Series (2002). *Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants*. Safety Guide. No. NS-G-3.3. International Atomic Energy Agency.
5. Robert, G.P., Michetti, A.M. (2004). Spatial and temporal variations in growth rates along active normal fault systems: an example from The Lazio – Abruzzo Apennines, central Italy. *Journal of Structural Geology* 26, 339-376.
6. Sheppard, George. (1946). The geology of the Guayaquil estuary, Ecuador. *Journal of the Institute of Petroleum, Institute of Petroleum, London, United Kingdom (GBR)*, Vol.32, no.272, pp.492-514.

7. Slemmons D.Burton and Depolo Craig M. (1986). Evaluation of active faulting and associated hazards. Active Tectonics: Impact on Society, 45-62.



# REDUCCIÓN DE LOS EFECTOS DE TORSIÓN EN UN EDIFICIO IRREGULAR CON LA INCORPORACIÓN DE AISLADORES DE BASE

Dr. Roberto Aguiar Falconí<sup>(1)</sup>, Juan Castillo Sagbay<sup>(2)</sup> y María Pazmiño Terán<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército.  
Correo Electrónico: [rraguiar@espe.edu.ec](mailto:rraguiar@espe.edu.ec)

<sup>(2)</sup>Carrera de Ingeniería Civil  
Escuela Politécnica del Ejército.

## RESUMEN

Se presenta el análisis sísmico espacial de una estructura de 6 pisos con aisladores sísmicos colocados sobre el tercer piso, la misma que es sometida ante la acción sísmica estipulada en el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11., empleando métodos dinámicos aproximados.

Se trabaja con un aislador denominado péndulo de fricción FPS (Frictional Pendulum System). Los resultados en términos de desplazamientos y giros se comparan entre: estructura sin aislación; estructura con aislación cuyo centro de rigidez se ubica de acuerdo a las cargas de la superestructura; estructura con aislación cuyo centro de rigidez coincide con el centro de masas y estructura con aislación cuyo centro de rigidez coincide con centro de rigidez de la primera, segunda y tercera planta de la superestructura respectivamente.

## ABSTRACT

The paper presents spatial seismic analysis of a 6-story structure with seismic isolators placed over the third floor; the structure is subjected to the seismic action stipulated in the spectrum of the Ecuadorian Standard Construction, NEC-11., using approximated dynamic methods.

Working with an isolator named Frictional Pendulum System FPS; the results in terms of displacement and rotations are compared between: structure without isolators; structure with isolation which stiffness center is located according to the loads of the superstructure; structure with isolation which stiffness center coincide with the mass center and structure with isolation which stiffness center coincide with the first, second and third story of superstructure respectively.

## 1 INTRODUCCIÓN

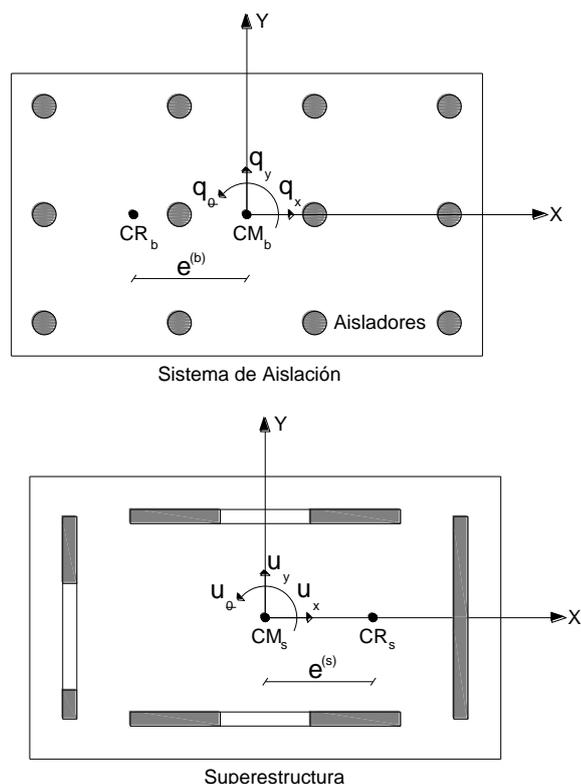
En estructuras irregulares se presentan importantes efectos de torsión debido a la acción sísmica, los cuales pueden ser controlados con una apropiada ubicación de los aisladores sísmicos.

Se han realizado importantes estudios sobre el control torsional en edificaciones como los mencionados a continuación:

En Segúin *et al* (2012) se presenta una metodología para lograr el control óptimo de la torsión en la superestructura. A través de técnicas probabilísticas se muestra que la respuesta de la superestructura se puede mejorar sustancialmente si el sistema de aislamiento es elástico a la torsión, y si el centro de rigidez de la base de aislación se encuentra en la proximidad del centro (promedio) de rigidez de la superestructura.

Los sistemas de aislamiento sísmico son dispositivos para mitigar los efectos destructivos de los terremotos en los edificios y su contenido mediante el control de la entrada sísmica. Aunque un gran número de estudios se han realizado durante los últimos 25 años, no existe una metodología sistemática para hacer frente a las superestructuras asimétricas. Es costumbre para diseñar el sistema de aislamiento, simplemente ignorar la torsión en la superestructura, o quizás considerarla sólo como un efecto secundario. Actualmente, el diseñador no tiene criterios de diseño para proporcionar un control eficaz de la torsión en la superestructura.

Las condiciones ideales para el control de la torsión de la superestructura son: que el CR de la base de aislación debe estar en la proximidad del CR (promedio) de la superestructura ( $CR^{(b)} \approx CR^{(s)}$ ); y que la rigidez a la torsión del sistema de aislamiento debe ser tan baja como sea posible. En tal condición, el sistema de aislamiento sísmico será capaz de canalizar las fuerzas sísmicas laterales hacia el CR de la superestructura.



**Figura 1** Vista esquemática de los grados de libertad del sistema de aislación y superestructura

A continuación se detallan las principales conclusiones y recomendaciones están: Para compensar los efectos de torsión superestructuras asimétricas aisladas es necesario introducir excentricidad en el sistema de aislamiento; el balance de torsión de la superestructura aumenta sustancialmente conforme la rigidez a la torsión del sistema de aislamiento disminuye y/o la rigidez a la torsión de la superestructura aumenta. Si el sistema de aislamiento es rígido a la torsión, no es posible, en general, lograr un equilibrio de torsión de la superestructura; la excentricidad requerida en el sistema de aislamiento para equilibrar la superestructura, aumenta con la excentricidad de la superestructura y disminuye con la rigidez a la torsión del sistema de aislamiento.

En Almazán *et al* (2012) se estudia la respuesta de estructuras asimétricas lineales y no lineales sometidas a excitación sísmica unidireccional y bidireccional, equipadas con uno o dos amortiguadores de masa sintonizados. Los resultados muestran que los TMDS reducen la deformación del borde en valores que varían de 20% a 50%. Las mayores reducciones se obtienen en los bordes donde la deformación es mayor. Como regla general, se ha encontrado que el TMD debe estar situado hacia la esquina donde la respuesta no controlada (sin TMD) es mayor. Los resultados de uno o dos TMDS son muy similares, por lo tanto, no hay una mejora significativa resultante de la adición de un segundo TMD.

Estudios relacionados con la aplicación de los amortiguadores de masa sintonizados para estructuras asimétricas sometidas a movimientos sísmicos son relativamente recientes. A pesar de que existen varios edificios reales equipados con TMD, la mayoría de ellos están diseñados para reducir las vibraciones de viento, por ejemplo: John Hancock Tower EE.UU., Park Tower EE.UU., Taipei 101 de Taiwán. No existen casos conocidos en los que TMDS se hayan diseñado y construido para controlar la respuesta sísmica, y menos aún los efectos de torsión. Sin embargo, en 2007 la construcción de un edificio de 20 pisos cuenta con dos TMDS en la ciudad de Santiago de Chile. Debido a la forma alargada del suelo, dos TMDS se colocaron, cada uno en la proximidad de los bordes de la construcción.

Para el cálculo de los parámetros de diseño de los TMDS, se utiliza el concepto de equilibrio torsional, que consiste en la reducción de la deformación máxima de entrepiso medida en los bordes de la estructura principal. Este concepto se puede aplicar a cualquier tipo de estructura, sometida a cualquier tipo de excitación.

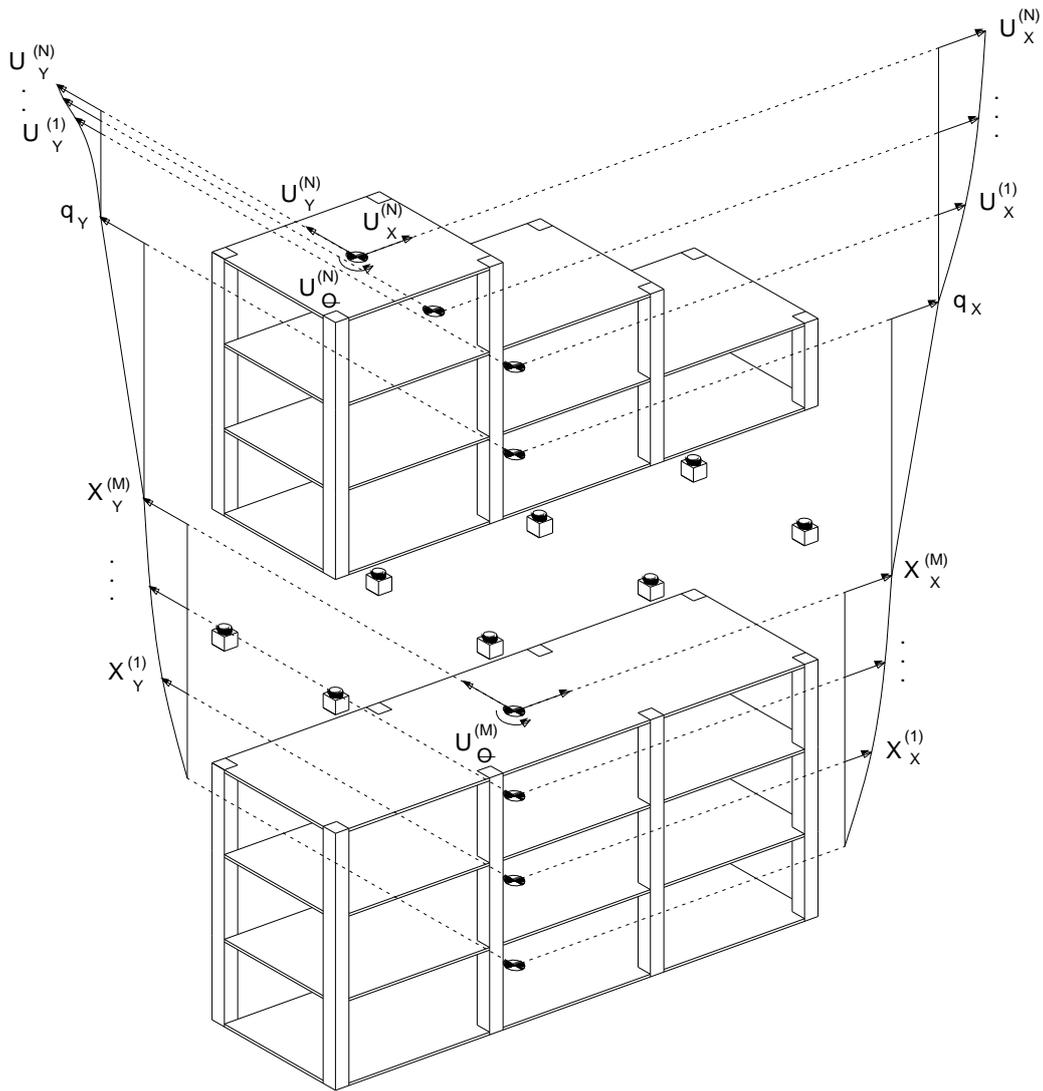
Entre las principales conclusiones de la investigación se tiene que las frecuencias naturales y la posición óptima de TMD están estrechamente interrelacionados y dependen en gran medida de la rigidez a la torsión, la excentricidad, la relación de rigidez lateral de la estructura principal, y el contenido de frecuencia del movimiento del suelo. Además, el ángulo de orientación de TMD tiene una influencia significativa en la respuesta de la estructura, que aumenta a medida que la excentricidad y la rigidez a la torsión de las principales estructuras crecen.

En Aguirre *et al* (2012) se indica que la asimetría estructural es reconocida por los estudios sísmicos modernos y los códigos de construcción como una propiedad de riesgo, indeseable. El acoplamiento lateral-torsional surge de la conducción del plano de asimetría para correlacionar las traslaciones rotaciones de la planta del edificio. Esta correlación genera una demanda de deformación desigual entre los planos de resistencia. Los procedimientos de diseño penalizan la capacidad de las estructuras asimétricas con la intención de limitar esta demanda desigual en planos vulnerables, por lo general al aumentar su rigidez y resistencia.

El uso de dispositivos de disipación de energía (EDD) ha surgido como una de las soluciones más convenientes para el control de las deformaciones en edificios asimétricos. Debido a las limitaciones económicas, EDD debe ser cuidadosamente colocado para mitigar no solo los desplazamientos de traslación, sino también la respuesta torsional. Los estudios iniciales de asignación óptima de EDD se llevaron a cabo a través de diferentes algoritmos de optimización.

Trabajos recientes proponen el equilibrio torsional como criterio de diseño de estructuras asimétricas con EDD. El balance torsional se define como la propiedad de una estructura asimétrica que conduce a una igual demanda de deformación en los miembros estructurales equidistantes del centro geométrico (CG) de la planta del edificio. Dos estrategias de equilibrio se pueden identificar: el equilibrio fuerte torsión y el equilibrio débil torsional (WTB). El balance torsional fuerte desacopla los movimientos laterales y de torsión aniquilando rotaciones del plano, llevando a una igual demanda de deformación en todos los elementos estructurales. WTB permite la rotación de la planta del edificio, pero iguala desviaciones estándar de la deformación en los planos de resistencia simétricamente ubicados con respecto al CG.

## 2 MARCO TEÓRICO



**Figura 2** Sistema superestructura – aislamiento considerado y grados de libertad relativos

El análisis sísmico de una estructura con aislamiento en pisos intermedios se realiza mediante la siguiente ecuación diferencial. Seguin (2007).

$$\bar{M} \begin{bmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{q} \\ \ddot{X} \end{bmatrix} + \bar{C} \begin{bmatrix} \dot{U} \\ \dot{q} \\ \dot{X} \end{bmatrix} + \bar{K} \begin{bmatrix} U \\ q \\ X \end{bmatrix} = \bar{Q} * a(t) \quad (1)$$

Donde: **M** es la matriz de masas, **C** es la matriz de amortiguamiento, **K** es la matriz de rigidez, **Q** es la matriz de cargas, **a(t)** es el vector de aceleraciones espectrales, **U** es el vector con desplazamientos de la superestructura, **q** es el vector con desplazamientos del sistema de aislamiento, **X** es el vector con desplazamientos de la subestructura.

La matriz de masas **M** deducida a partir del análisis de la energía cinética se muestra a continuación junto con la matriz de rigidez **K**, matriz de amortiguamiento **C** y matriz de cargas **Q**.

$$M = \begin{bmatrix} m^{(s)} & m^{(s)}r^{(s)} & m^{(s)}r^{(s)}r^{(b)} \\ r^{(s)t}m^{(s)} & r^{(s)t}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)} & (r^{(s)t}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)})r^{(b)} \\ r^{(b)t}r^{(s)t}m^{(s)} & r^{(b)t}(r^{(s)t}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)}) & r^{(b)t}(r^{(s)t}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)})r^{(b)} + m^{(i)} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$K = \begin{bmatrix} KE^{(s)} & 0 & 0 \\ 0 & KE^{(b)} & 0 \\ 0 & 0 & KE^{(i)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} C^{(s)} & 0 & 0 \\ 0 & C^{(b)} & 0 \\ 0 & 0 & C^{(i)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$Q = \begin{bmatrix} m^{(s)}r^{(s)}r^{(b)} \\ (r^{(s)t}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)})r^{(b)} \\ r^{(b)t}(r^{(s)t}m^{(s)}r^{(s)} + m^{(b)})r^{(b)} + m^{(i)} \end{bmatrix} * r^{(i)} \quad (5)$$

Donde:  $\mathbf{m}^{(s)}$  es la matriz de masa de la superestructura;  $\mathbf{m}^{(i)}$  es la matriz de masa de la subestructura;  $\mathbf{m}^{(b)}$  es la matriz de masa del sistema de aislación;  $\mathbf{r}^{(s)}$  es la matriz de incidencia de la superestructura;  $\mathbf{r}^{(i)}$  es la matriz de incidencia de la subestructura;  $\mathbf{r}^{(b)}$  es la matriz de incidencia del sistema de aislación;  $\mathbf{KE}^{(s)}$  es la matriz de rigidez en coordenadas de piso de la superestructura;  $\mathbf{KE}^{(i)}$  es la matriz de rigidez en coordenadas de piso de la subestructura;  $\mathbf{KE}^{(b)}$  es la matriz de rigidez en coordenadas de piso del sistema de aislación;  $\mathbf{C}^{(s)}$  es la matriz de amortiguamiento de la superestructura;  $\mathbf{C}^{(i)}$  es la matriz de amortiguamiento de la subestructura;  $\mathbf{C}^{(b)}$  es la matriz de amortiguamiento del sistema de aislación.

### 3 AISLADOR FPS

Los aisladores sísmicos péndulo friccional (FPS) cuentan con un deslizador articulado que se mueve sobre una superficie esférica de acero inoxidable. Este movimiento permitirá que ante un evento sísmico se disipe energía por fricción. El deslizador articulado está revestido con un material compuesto de alta capacidad de soporte basado en politetrafluoroetileno que tiene un bajo coeficiente de fricción.

El aislador FPS mostrado en la figura 3 corresponde a la primera generación y es el que se va a utilizar en la resolución del ejemplo de aplicación.

Los FPS son aisladores autocentrantes, es decir que la estructura regresa a su posición inicial después de un movimiento sísmico, debido a su peso propio. Aguiar *et al.* (2008).

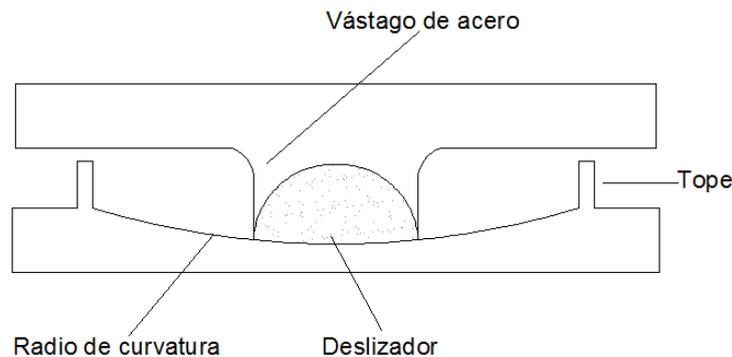


Figura 3 Esquema de un aislador FPS

Para el cálculo de la rigidez del aislador FPS se relaciona el peso que gravita sobre el aislador  $W$  y el radio de curvatura  $R$  como se señala en la ecuación 7. El radio de curvatura se determina con la ecuación 6.

$$R = \left(\frac{T_o}{2\pi}\right)^2 * g \tag{6}$$

$$k_b^{(i)} = \frac{W}{R} \tag{7}$$

Siendo:  $T_o$  el período objetivo del aislador y  $g$  la aceleración de la gravedad.

La matriz de rigidez en coordenadas de piso del sistema de aislación FPS se encuentra con la matriz 8. La figura 4 muestra la disposición de las rigideces en el sistema de aislación.

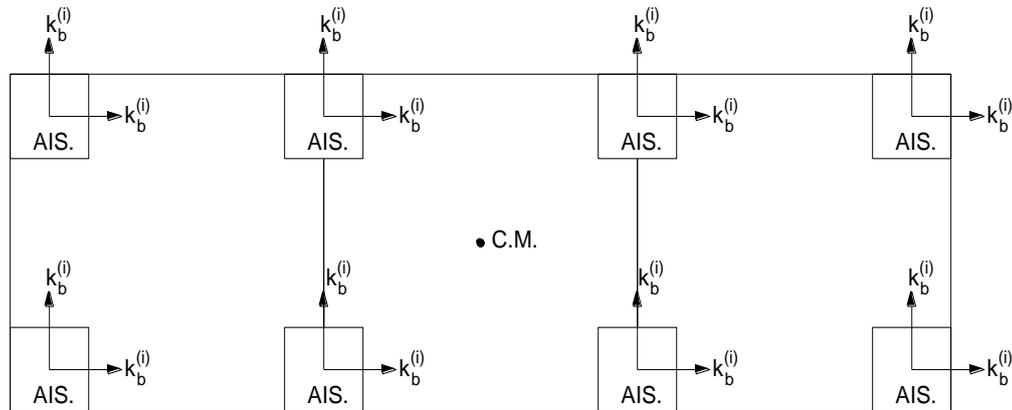


Figura 4 Disposición de las rigideces del sistema de aislación

$$KE^{(b)} = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{x\theta} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{y\theta} \\ K_{\theta x} & K_{\theta y} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \tag{8}$$

Donde  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$  las matrices de rigidez lateral por traslación en sentido X, Y, respectivamente;  $K_{\theta\theta}$  es la matriz de rigidez torsional;  $K_{xy}$  es la matriz de acoplamiento traslacional entre las direcciones X, Y;  $K_{x\theta}$ ,  $K_{y\theta}$  son matrices de rigidez de acoplamiento de torsión con desplazamiento. Aguiar (2012).

La matriz de masas del sistema de aislación  $m^{(b)}$  toma la forma que se muestra en la matriz 9:

$$m^{(b)} = \begin{bmatrix} m_b & & \\ & m_b & \\ & & J_b \end{bmatrix} \tag{9}$$

Donde:  $m_b$  es la masa total de piso de aislación;  $J_b$  es el momento de inercia de la masa  $m_b$  con respecto al centro de masas CM. La ecuación 10 muestra el cálculo del  $J_b$ .

$$J_b = \frac{m_b}{12} (a^2 + b^2) \tag{10}$$

La matriz de amortiguamiento  $C^b$  se calcula por combinación de la rigidez  $KE^b$  y la matriz de masas  $m^b$ , haciendo uso del teorema de Wilson y Penzien.

El amortiguamiento efectivo  $\xi_{efe.}$  es la relación entre la energía disipada en un ciclo de histéresis y la energía elástica. Para su cálculo, es necesario imponerse un desplazamiento  $q$  del sistema de aislación.

$$\xi_{efe.} = \frac{2}{\pi} * \frac{\mu}{\mu + \frac{q}{R}} \quad (11)$$

Donde:  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre el material de recubrimiento del deslizador y la superficie de acero.

Con este valor de  $\xi_{efe.}$  se verifica si el desplazamiento del sistema de aislación es en realidad el asumido. Aguiar (2012).

#### 4 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Realizar el análisis sísmico espacial en Y de la estructura sin aislación cuya geometría y cargas verticales se muestran en las figuras 5 y 6 respectivamente. Se considera un valor de reducción de fuerzas sísmicas  $R=4$ .

Adicionalmente, se realizará el análisis sísmico de la misma estructura pero colocando aisladores de base FPS en la tercera planta de la estructura, de manera que la geometría de la misma quedaría como se muestra en la figura 7 y las cargas verticales actuantes en la figura 8.

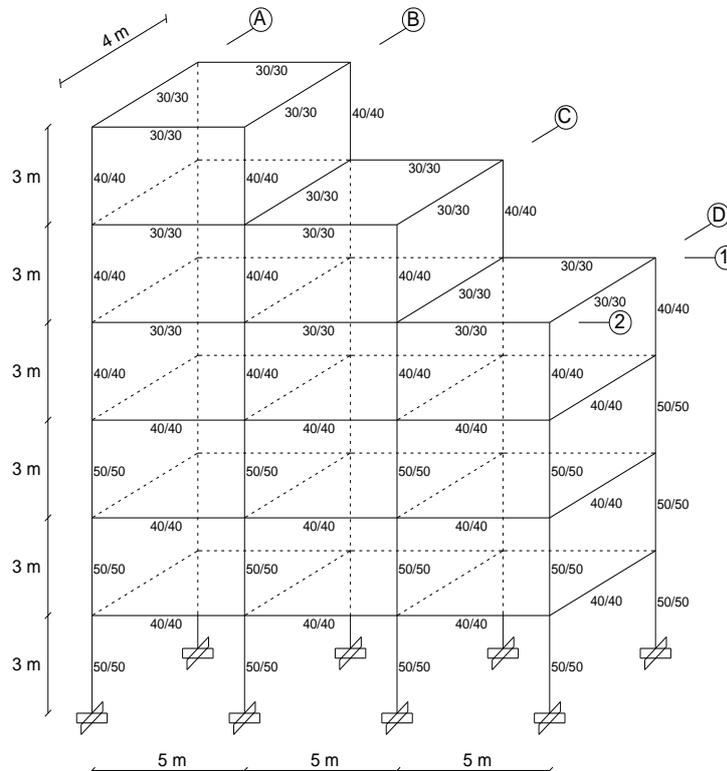


Figura 5 Geometría – Estructura sin aislación

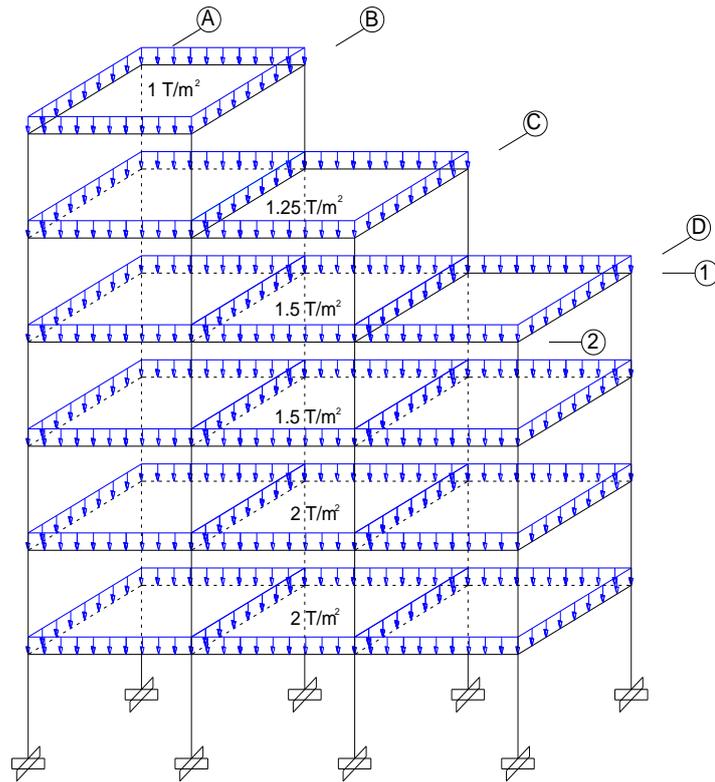


Figura 6 Cargas - Estructura sin aislación

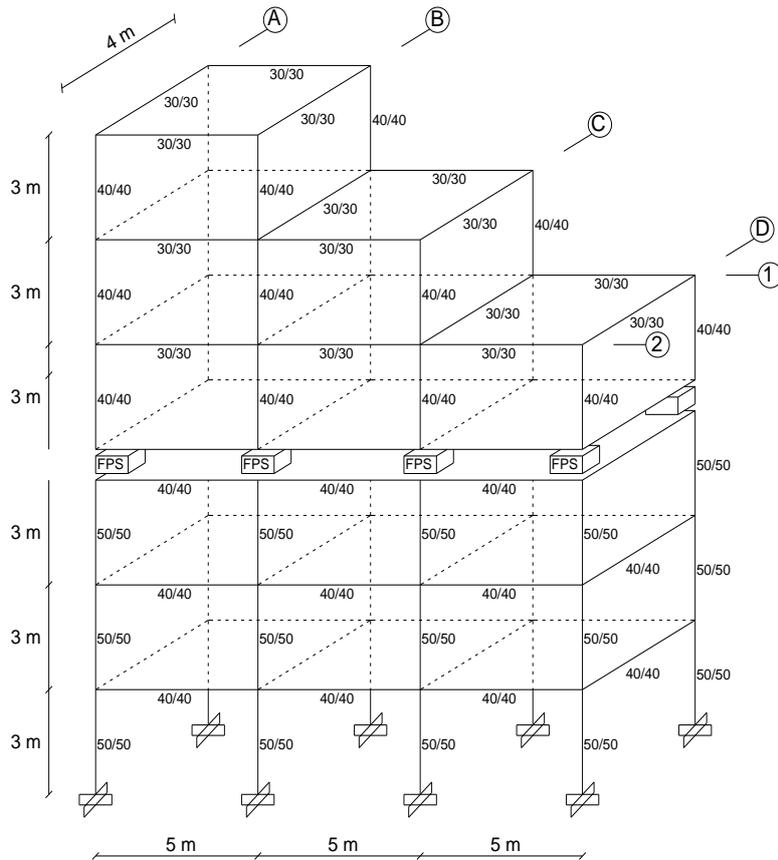


Figura 7 Geometría - Estructura con aislación

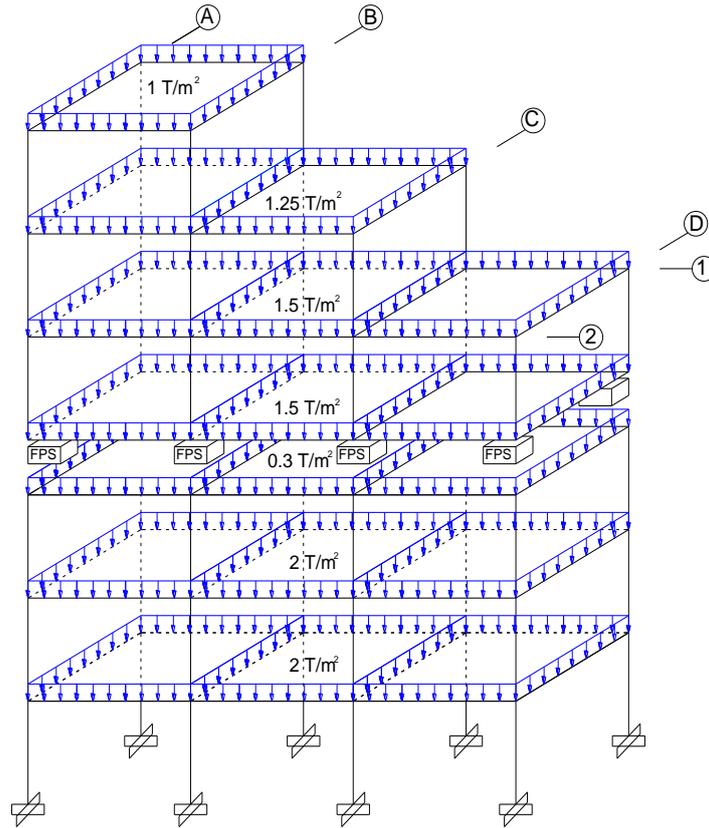


Figura 8 Cargas - Estructura con aislación

Las estructuras se hallan ubicadas en la ciudad de Quito sobre un perfil de suelo tipo "C". El módulo de elasticidad del hormigón es de  $2400000 \text{ T/m}^2$ . Los grados de libertad en coordenadas de piso para el análisis sin aislación se muestran en la figura 9, mientras que los del análisis con aislación en la figura 10.

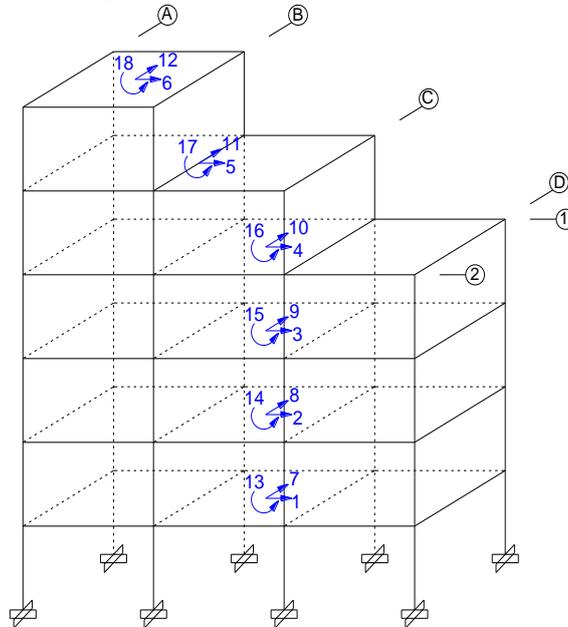
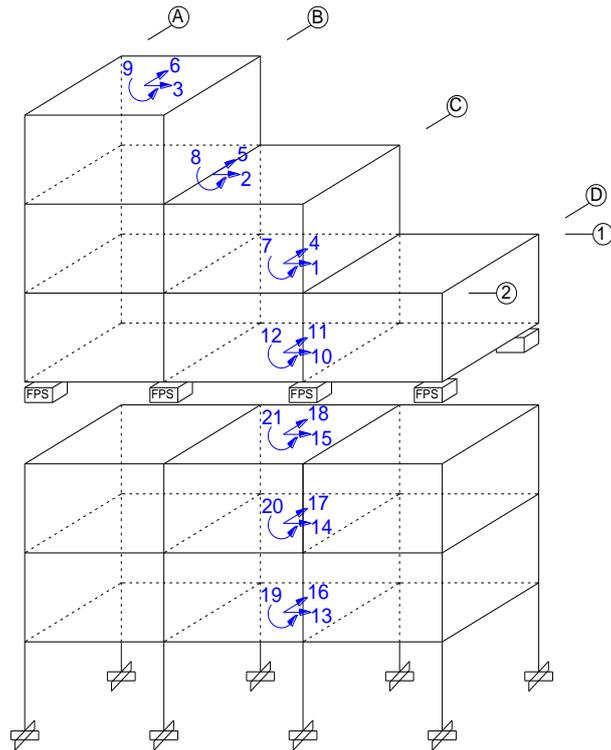


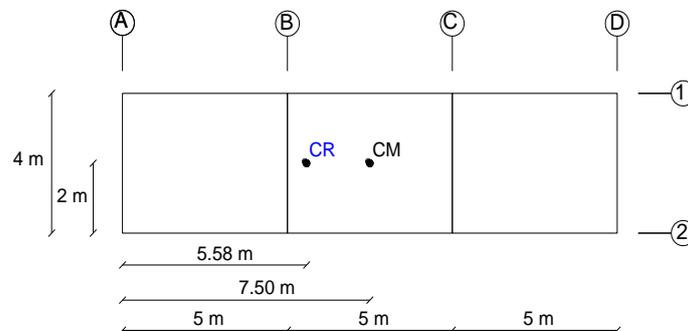
Figura 9 Grados de libertad - Estructura sin aislación



**Figura 10** Grados de libertad - Estructura con aislación

El análisis sísmico espacial con aislación se realizará en el sentido Y, considerando un valor de reducción de fuerzas sísmicas  $R=2$ . Se coloca aisladores FPS de la primera generación en el tercer piso, los mismo que tienen un coeficiente de fricción  $u=0.10$ , con un período objetivo de 2.50 segundos. Dentro de este análisis se considerarán los siguientes casos:

1. El centro de rigidez del sistema de aislación se ubicará de acuerdo a las solicitaciones de cargas de la estructura.
2. El centro de rigidez del sistema de aislación coincidirá con el centro de masas de dicho sistema.
3. El centro de rigidez del sistema de aislación coincidirá con los centros de rigidez de la primera, segunda y tercera planta de la superestructura mostrados en las figuras 11, 12 y 13 respectivamente.



**Figura 11** Centro de rigidez de la primera planta de la superestructura

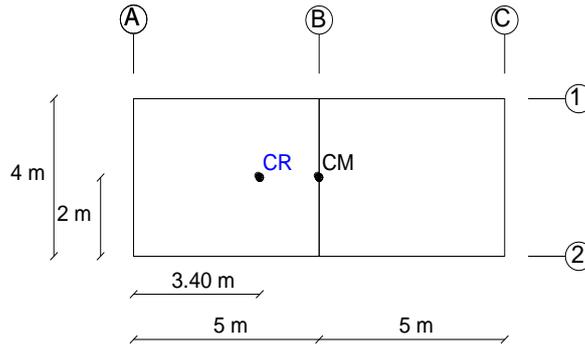


Figura 12 Centro de rigidez de la segunda planta de la superestructura

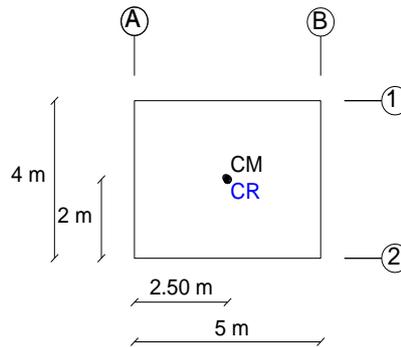


Figura 13 Centro de rigidez de la tercera planta de la superestructura

## 5 RESULTADOS

Del análisis sísmico de los modelos matemáticos presentados en el apartado anterior se obtuvieron los diferentes desplazamientos y giros de la estructura con aisladores FPS. Las tablas 1 y 2 presentan los desplazamientos y giros inelásticos del análisis espacial aplicando sismo en el sentido Y.

Tabla 1 Desplazamientos y giros inelásticos

PISO	CASO 1 Sin aislación		CASO 2 (Cargas) CR = 6.60 m		CASO 3 (CR=CM) CR = 7.50 m	
	Desp. (m)	Giro (rad)	Desp. (m)	Giro (rad)	Desp. (m)	Giro (rad)
Sup. 1	0.17839	0.01942	0.00893	0.00063	0.00953	0.00063
Sup. 2	0.27098	0.02695	0.02491	0.00160	0.02675	0.00158
Sup. 3	0.38852	0.03203	0.04042	0.00220	0.04341	0.00213
Aislación	-	-	0.28170	0.02773	0.28993	0.00034
Sub. 1	0.02726	0.00278	0.01843	0.00042	0.01868	0.00001
Sub. 2	0.07411	0.00769	0.04455	0.00117	0.04534	0.00003
Sub. 3	0.12092	0.01278	0.06211	0.00189	0.06360	0.00005

Tabla 2 Desplazamientos y giros inelásticos

PISO	CASO 4 CR = 5.58 m		CASO 5 CR = 3.40 m		CASO 6 CR = 2.50 m	
	Desp. (m)	Giro (rad)	Desp. (m)	Giro (rad)	Desp. (m)	Giro (rad)
Sup. 1	0.00857	0.00071	0.00779	0.00089	0.00739	0.00097
Sup. 2	0.02435	0.00180	0.02348	0.00222	0.02311	0.00240
Sup. 3	0.04025	0.00249	0.04069	0.00306	0.04105	0.00332
Aislación	0.29042	0.03106	0.33305	0.03883	0.37059	0.04546
Sub. 1	0.01827	0.00054	0.01791	0.00073	0.01773	0.00080
Sub. 2	0.04404	0.00150	0.04294	0.00201	0.04240	0.00220
Sub. 3	0.06116	0.00240	0.05918	0.00319	0.05821	0.00349

## 6 CONCLUSIONES

El uso de aisladores sísmicos FPS reduce de manera notable los desplazamientos de una estructura generados ante la acción de un sismo, minimizando así los daños que se puedan generar en los elementos y permitiendo que la edificación permanezca en uso.

La estructura analizada es irregular razón por la cual en su análisis espacial se presentan problemas de torsión ante la acción de un sismo. De los resultados obtenidos para los diversos casos antes mencionados, el que minimiza este efecto de manera valiosa, es cuando el centro de rigidez del sistema de aislación coincide con su centro de masas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguiar R., (2012), Dinámica de estructuras con CEINCI-LAB, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
2. Aguiar R., Almazán J., Dechent P., Suarez V., (2008), Aisladores de base elastoméricos y FPS, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
3. Aguirre J., Almazán J., Paul C., (2012), Optimal control of linear and nonlinear asymmetric structures by means of passive energy dampers. Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Diego Portales.
4. Almazán J., Espinoza G., Aguirre J., (2012), Torsional balance of asymmetric structures by means of tuned mass dampers, Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica de Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de Universidad del Bío Bío.
5. Seguin C., Almazán J., De la Llera J., (2012), Torsional balance of seismically isolated asymmetric structures, Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
6. Seguin C., (2007), Torsión en sistemas aislados sísmicamente con dispositivos elastomérico, Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.

## EXTRACTOS DE PITUITARIA DE TILAPIA Y SU VALORACIÓN BIOLÓGICA IN VITRO

Ortiz, J<sup>1,2</sup>; Muñoz, D<sup>1</sup>; Giacometti, J<sup>1</sup> & L., Valladares<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup>Laboratorio de Recursos Acuáticos  
IASA – ESPE

<sup>(2)</sup>Laboratorio de Hormonas y Receptores  
INTA – U. Chile

### RESUMEN

El control de la reproducción en la piscicultura es un punto crítico dentro del proceso productivo. El uso de pituitarias homólogas de la misma especie y análogos de GnRH se emplea frecuentemente para este propósito. Sin embargo en muchas especies comerciales como la tilapia, el efecto de los mismos no es efectivo. En este estudio se evaluaron concentraciones de pituitaria de tilapia en diferentes modelos animales, generando información importante. Se detectó una acción positiva de pituitaria de tilapia (PT) y pituitaria de carpa (CP) en cultivos *in vitro* de células de Leydig de cobayo, detectándose diferencias en la respuesta a concentraciones de testosterona ( $p < 0,05$ ). En ovarios de trucha y tilapia la respuesta fue positiva en las concentraciones de estradiol, existiendo diferencias entre especies. Cabe recalcar que la acción de PT en ovarios de tilapia es única lo que evidencia la estructura homóloga de la gonadotropinas y su posible uso en pruebas *in vivo* para el control de la reproducción de la especie en programas selección y mejoramiento.

Palabras Claves: *Oreochromis niloticus*, pituitaria de tilapia, gonadotropinas, estradiol, testosterona.

### ABSTRACT

The control of reproduction in fish farming is critical in the production process. For this purpose, the use of homologous pituitary and GnRH analogues is widely used. However in many commercial species such as tilapia, the treatment is not always effective. In this study, we evaluated different concentrations of tilapia pituitary extracts in different animal models. There was a positive action of pituitary of tilapia (PT) and pituitary of carp (CP) on *in vitro* culture of guinea pig Leydig cells, detecting differences in testosterone levels ( $p < 0.05$ ). In ovaries of trout and tilapia the estradiol levels answer was positive, with differences between species. It should be noted that the action of PT on the Tilapia ovaries is specific because homologous hormones are acting on the gonads, suggesting its possible use *in vivo* experiments for the control of reproduction of the selection and breeding programs of tilapia.

Keywords: *Oreochromis niloticus*, tilapia pituitary, gonadotropins, estradiol, testosterone.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el mundo se producen más de 3,09 millones de toneladas de tilapia, ubicándola por volumen como una de las especies más importantes para la acuicultura. Por su fácil manejo y alta demanda, el cultivo de tilapia se ha generalizado en Latinoamérica, especialmente en Ecuador.

En la última década el crecimiento fue del 56 % con una producción de 37,46 mil toneladas e ingresos por 123,6 millones de dólares al 2009 (FAO, 2011). Es importante mencionar que esta industria enfrenta grandes retos por la alta competitividad y oferta de países asiáticos, por lo que el manejo de herramientas biotecnológicas será una estrategia competitiva en el mercado.

Bajo estas consideraciones, en Latinoamérica se están implementando varios programas de mejoramiento genético (PMG), con la finalidad de identificar líneas genéticas y mejorar caracteres productivos. Sin embargo, el control de la reproducción en PMG para dirigir cruza individuales se ve afectado en muchas empresas por la ausencia de desoves, fecundidad variable, calidad de los embriones y supervivencia (Gowaty, 1994; Kellogg *et al.*, 1995; Reyes, *com.pers.*).

Las estrategias de regulación endócrina y acción hormonal son utilizadas ampliamente en salmónidos, characidos, cyprinidos entre otros grupos de peces y con resultados importantes en fecundidad y sincronización. Pero en cíclidos como *O. niloticus*, la respuesta a hormonas comerciales demuestran un limitado número de puestas por ciclo, baja fecundidad y mala fertilización (Pullin *et al.*, 1987; Srisakultiew *et al.*, 1993; Shelton, 1999; Boonet *et al.*, 2007).

En la bibliografía revisada, no se detecta el uso de pituitaria de la misma especie, por lo que la posibilidad de utilizarla en procesos de inducción sería útil para los propósitos señalados. Cabe recalcar que la estructura secuencial de las hipófisis de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y receptores son las mismas, por ende el efecto sinérgico en todos los procesos esteroidogénicos debe ser evidente. Sin embargo, el uso de hipófisis se dirigiría a peces maduros ya que pueden existir efectos diferentes por la presencia de otro tipo de hormonas. Hay que considerar que los procesos de estandarización y evaluación pueden ser altamente variables y en ocasiones provocar patologías (Muñoz Cueto, 2009).

En la actualidad. Ecuador produce más de 30 mil toneladas de filete fresco de tilapia, con pesos a la cosecha de 800 a 1100 g/pez en un período de 8 a 12 meses y temperaturas de 27°C. Bajo estas características por edad, peso y condición corporal, la disponibilidad de peces maduros e hipófisis es elevada, lo que generaría un valor añadido a un producto residual.

La validación de la actividad biológica en cultivos celulares es utilizada ampliamente en el campo biotecnológico. Sin embargo la disponibilidad de bioterios que certifiquen la calidad del modelo biológico (MB) son escasos en países en vías de desarrollo. Los MB ampliamente utilizados para estos propósitos son ratas blancas (línea Western Canadian) de 2, 5 meses de edad en promedio. Bajo esta consideración y apoyados por varios estudios, se empleó MB alternativos, como cobayos peruanos mejorados (*Cavia porcellus* (L)), ovarios de trucha arco iris y tilapia nilótica.

Con estos antecedentes el objetivo de este estudio fue determinar la actividad biológica (AB) de las hipófisis de tilapia en células purificadas de laydig de cobayo y cultivos gonadales de trucha y tilapia, bajo la estrategia dosis –respuesta y la construcción de curvas de saturación.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Extractos de hipófisis de tilapia

Los peces fueron obtenidos de la empresa Santa Priscila, ubicada en la provincia del Guayas- Ecuador. Se trabajó con Tilapia del Nilo, línea Chitrala. Las muestras frescas fueron procesadas a 4 °C para la extracción cefálica. Posteriormente en condiciones asépticas, se realizó un corte fino hasta la superficie del cerebro detectándose los lóbulos cefálicos. Por debajo del tercer ventrículo alojada en la silla turca y de una forma libre, con una coloración

blanquecina aperlada se colectó la hipófisis en tubos eppendorf con acetona al 96%. Las pituitaria fueron tratadas acorde a los protocolos de Isaev, 1968.

## 2.2 Pruebas microbiológicas de los extractos de hipófisis de tilapia

Las pituitarias fueron liofilizadas y preparadas en soluciones con agua miliQ (5, 10, 15 mg/mL). Como control, se utilizó hipófisis de carpa comercial, liofilizada. Los medios de cultivo para crecimiento bacteriano fueron agar nutriente y agar sangre. Para hongos se utilizó agar Sabouraud. Las tinciones fueron realizadas bajo técnicas convencionales Gram.

## 2.3 Purificación de células de Laydig de Cobayo peruano mejorado (*Cavia porcellus* (L))

Previo sacrificio de machos jóvenes con pesos aproximados de  $1123 \pm 172$  gramos, y con edad de 2,5 meses, los testículos extraídos fueron limpiados con agua destilada. Inmediatamente se pusieron en inmersión en una solución basal Eagle (HAM sales balanceadas, sigma ®), a pH 7,4. Posteriormente se agregó 0,25 mg/mL de colagenasa (*Clostridium histoliticum*, sigma ®). Esta solución fue incubada a 37°C en baño maría y agitación constante por 15 minutos. Previa separación del sobrenadante, se centrifugó a 2800 g por 10 minutos y 27 °C. Se eliminó el sobrenadante y a la base sólida se le añadió 5 mL de solución Ham. Todo el proceso se lo realizó a una temperatura de 4 °C y las pruebas de actividad se procesaran en máximo 24 horas (Valladares *et al.*, 1986; 1999). Para comprobación de presencia y carga celular se utilizaron métodos convencionales y la cámara de Neubauer.

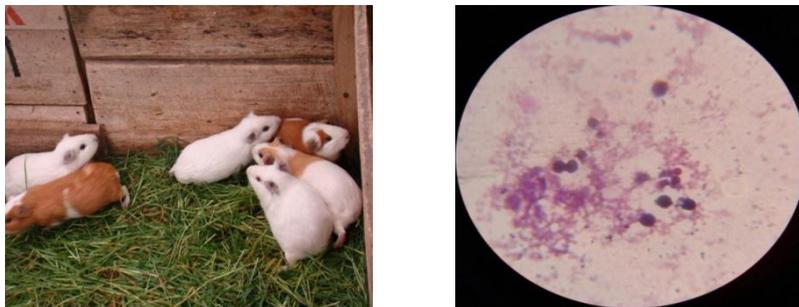


Figura 1. Procesamiento de cobayos peruanos mejorados y purificación de las células de laydig

## 2.4 Purificación de células de la granulosa de ovarios de Tilapia adulta

Previo sacrificio de hembras jóvenes de *O. niloticus*, los ovarios extraídos fueron limpiados con agua destilada y colocados en proporción de 20 mg/pocillo. Inmediatamente se agregó solución basal eagle (HAM sales balanceadas, sigma ®), a pH 7,4, penicilina, estreptomina, nystaina y 0,5% BSA sigma ®. Las gónadas fueron lavadas tres veces por intervalos de 1 hora e incubadas a 26°C. En el último lavado se le añadió 0,2 mM de teofilina, sigma ® y por triplicado se dispuso a pruebas de desafío con pituitarias de tilapia y carpa por 18 horas. El sobrenadante fue extraído y conservado a -20°C para posteriores pruebas de EIA para estradiol (Aizen *et al.*, 2007)

## 2.5 Determinación *in vitro* la actividad biológica de los extractos de hipófisis de tilapia

Para medir la actividad biológica de los extractos de hipófisis de tilapia se realizó un ensayo de producción de testosterona y 17  $\beta$  estradiol, bajo la estrategia dosis –respuesta y la construcción de curvas de saturación. Para ello se usaron cultivos primarios de células de granulosa de tilapia y purificadas por método convencional. Alternativamente se usó células laydig de cobayo y se midió la producción de testosterona. (Ko *et al.*, 2007; Kazeto *et al.*, 2008; Valladares *et al.*, 1986,1999).

Para el análisis y cuantificación se usaron técnicas de ELISA (enzima linked inmuno sorbent assay) descritas para 17  $\beta$  estradiol y testosterona, en el catálogo Accu\_Bind Elisa microwells: 3725-300, Monobind inc ®. Se empleo una incubadora Stat-Fax2200 Awareness Technology inc ®, el espectofotómetro- uQuant-Bio-Tek instruments inc ® y para el lavado de placas el Robot-stat-fax 2600, Awareness Technology inc ®.

Para el análisis estadístico se utilizó el Análisis de Varianza de una vía (ANOVA). Cuando el ANOVA detectó diferencias estadísticas, los tratamientos fueron comparados usando el test Tukey´s con un nivel de significancia del 95%. Para este propósito se utilizó el programa Statgraphics ®.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Extracción de hipófisis y liofilización

Se procesaron 201 cabezas de tilapia con pesos variables desde 72,07 g hasta los 1184 g/unidad. El mayor porcentaje de individuos fue de 245,38 g/u (n=101) y 529,94 g/u (n=67). La correlación entre peso y longitud se mantuvo en el orden del 98%. En total se recolectaron 326 mg de pituitaria seca de tilapia, con rangos de 0,5 hasta 3,5 mg/pit.

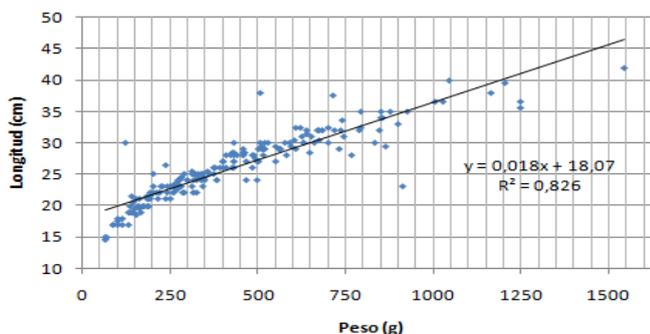


Figura 2. Relación peso longitud de las muestras procesadas

### 3.2 Microbiología de los extractos de pituitaria de tilapia (PT) y carpa (CP)

En los medios de cultivo de agar nutriente, se detectaron bacilos Gram + (*Bacillus sp.*), las cuales son abundantes en el aire, suelo y agua pero no patógenas. No existió crecimiento de hongos en 24 y 48 horas. No existió crecimiento de bacterias patógenas de características hemolíticas (prueba agar sangre)

### 3.3 Pruebas de actividad biológica (AB) de PT y CP de laydig de cobayo

Mediante técnicas convencionales de purificación se obtuvo  $9 \times 10^4$  cel laydig/ $\mu$ l. El desafío *in vitro* fue contra 5, 10,15 mg/mL de PT y CP. El coeficiente de variación (CV) se mantuvo en el orden del 6% entre muestras y ensayos, permitiendo validar los resultados. Las muestras fueron medidas por duplicado detectándose medias y desviaciones estándar.

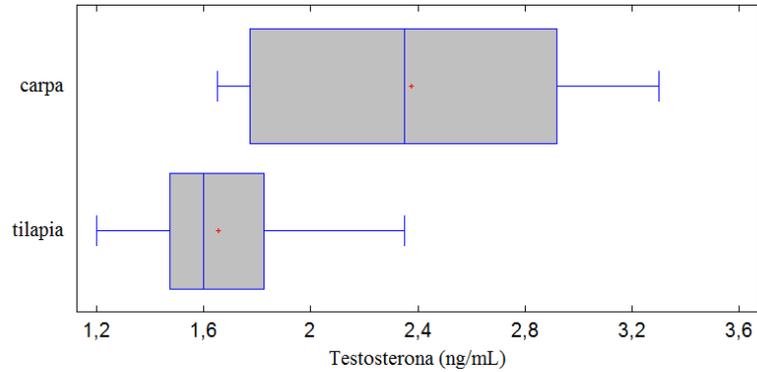


Figura 3. Efecto de PT y CP en Células de Laydig de Cobayo.

El cultivo *in vitro* generó una respuesta positiva de testosterona, frente a la acción de hipófisis de tilapia y carpa con 1,6 y 2,4 ng/mL respectivamente. La acción de pituitaria por especie fue diferente ( $p=0,0001$ ).

La respuesta a una concentración de 5mg pit/ml fue positiva. Los mejores resultados se evidencia con pituitaria de carpa (PC) a una concentración de 15mg/mL, volumen de 20  $\mu$ L; 3,3 ng /mL de testosterona (T). Con pituitaria de tilapia (PT) la mejor respuesta se da a una concentración de 5mg pit/ml , volumen de 20  $\mu$ L; 2,4 ng /mL de T. Cabe notar que no hay diferencias entre concentraciones ( $p=0,2216$ ), pero si existen diferencias entre volúmenes a diferentes concentraciones ( $p=0,0489$ ).

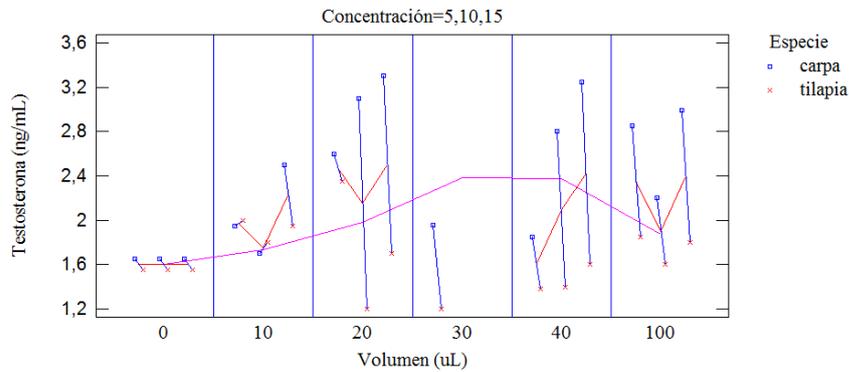


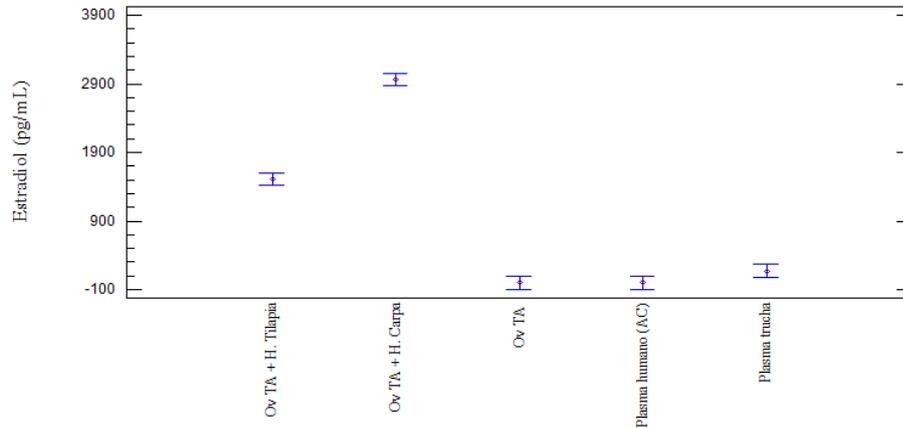
Figura 4. Pruebas de AB de PT y CP contra células de Laydig de cobayo

### 3.4 Pruebas de AB de PT y CP en ovarios en desarrollo de trucha arco iris

Tomando en consideración que las estructuras de las gonodotrofinas son únicas por especie, en especial de la hormona folículo estimulante, subunidad  $\beta$ , se procedió a realizar pruebas experimentales para estradiol en células de ovarios en desarrollo, de trucha arco iris. La curva estándar creada para estradiol según catálogo Accu\_Bind Elisa microwells: 3725-300, Monobind inc ®, brindó un nivel de confianza del 99%. El CV entre muestras y ensayos se mantuvo < 6%.

Se trabajaron con truchas de 10 meses de edad con pesos promedio de  $800 \pm 50$  g/unidad un índice gonadosomático (GSI) de 1,875%.

La respuesta a una concentración de 10 mg/mL, en todos los casos fue positiva. Los resultados fueron significativos entre CP y PT ( $p=0,0001$ ) con 2900 y 1500 pg/mL, respectivamente. A una misma concentración y en diferentes volúmenes la respuestas no fue significativa ( $p=0,648$ ).

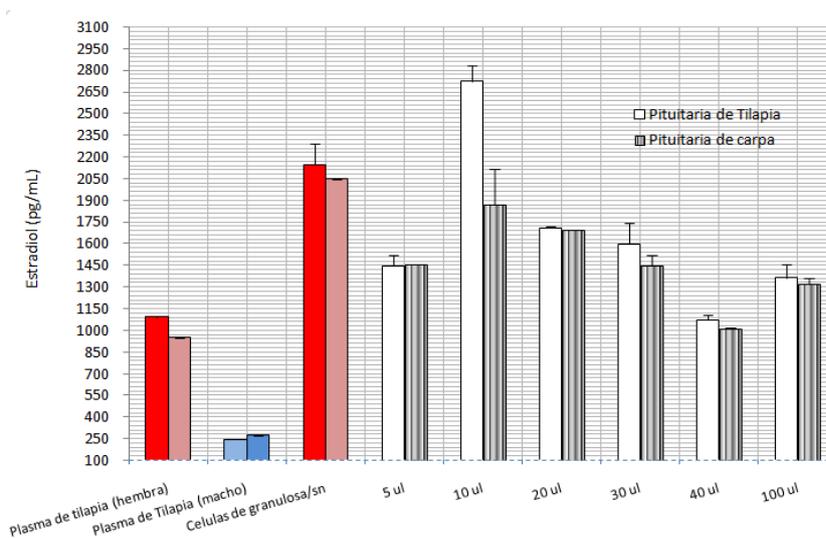


**Figura 5.** Pruebas de AB de PT y CP contra células de granulosa de trucha arco iris. Ov: Ovarios; TA: Trucha arco iris; H: hipófisis; AC: pastillas anticonceptivas.

### 3.5 Pruebas de AB de PT y CP en ovarios en desarrollo de tilapia nilótica

Se trabajó con tilapias de 2,5 meses de edad y peso de 76 g/unidad, IGS de 3,14%. En todos los casos se encontraron diferencias entre grupos ( $p=0,0014$ ). Sin embargo no hay diferencias estadísticas entre concentración y volumen ( $p=0,516$  y  $p=0,112$ ).

A una concentración de 5mg/mL tilapia y volumen de 10  $\mu$ L la repuesta fue de 2725 pg/mL. Las pruebas experimentales fueron desafiadas con tres controles: Plasma de tilapia hembra, macho y estradiol presente en los ovarios sin ningún estímulo.



**Figura 6.** Pruebas de AB de PT y CP (5 mg/mL), contra ovarios en desarrollo en *O. niloticus*.

Las pruebas de desafío con ovarios de tilapia a una concentración de 10 mg PT/mL generaron una respuesta positiva en todos los casos. A un volumen de 10  $\mu$ L la respuesta fue de 2875 pg  $E_2$ /mL. Cabe notar que la respuesta al estímulo de CP, la respuesta no va más allá de los 1900 pg  $E_2$ /mL.

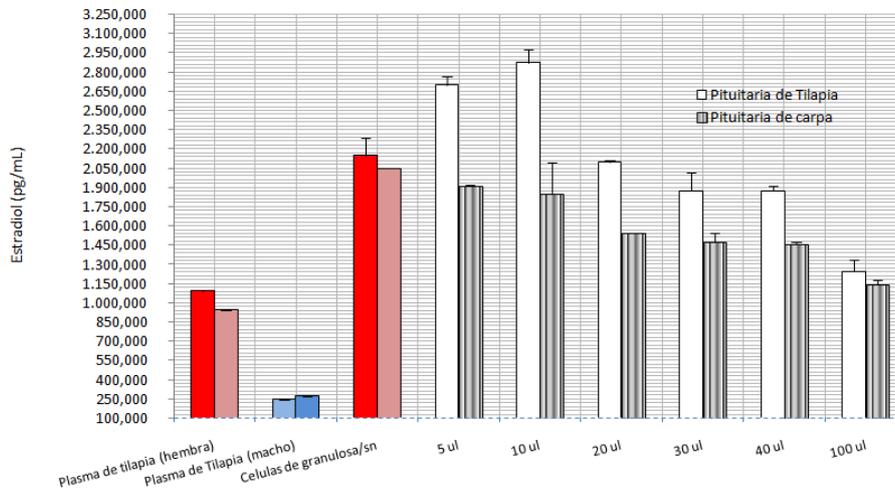


Figura 7. Pruebas de AB de PT y CP (10 mg/mL), contra ovarios en desarrollo en *O. niloticus*.

A una concentración de 15 mg/mL, la mejor respuesta está a un volumen de 5  $\mu$ L y una producción de  $E_2$  de 3000 pg/mL.

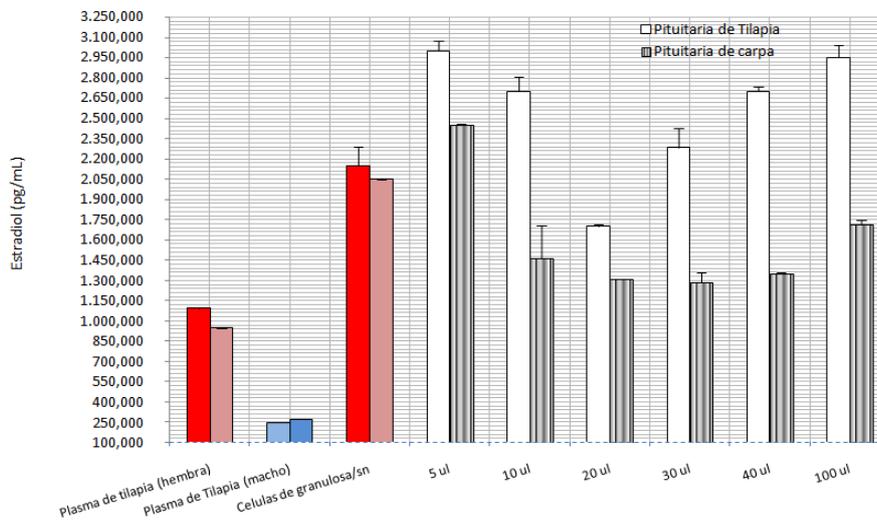


Figura 8. Pruebas de AB de PT y CP (10 mg/mL), contra ovarios en desarrollo en *O. niloticus*.

#### 4 DISCUSIÓN

El presente estudio demuestra que la actividad biológica de pituitaria de tilapia (PT) tiene un efecto en tejido y células gonadales. La producción de testosterona (T) en células de Laydig, y estradiol ( $E_2$ ) en ovarios de trucha y tilapia es evidente.

Los estímulos generados a diferentes concentraciones de PT desencadenan el acoplamiento de las gonodotrofinas con sus receptores específicos y, por consiguiente, los procesos esteroidogénicos. Sin embargo, por activaciones cruzadas de las subunidades de FSH y LH y especificidad de receptores hormonales, las respuestas en muchos casos son

negativas (Muñoz-Cueto, 2009). En cobayo y trucha existe respuesta a PT pero es baja en comparación a la pituitaria de carpa (CP). Sin embargo, la respuesta con PT en la misma especie es positiva y va de 2500 hasta 3000 pg E<sub>2</sub>/mL, lo que confirma una homología con sus receptores del 100%. (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Los rangos basales de E<sub>2</sub> en plasma y gónadas obtenidos en este estudio son similares a los trabajos de Cornish, 1998.

Estudios relacionados al uso de hormonas para el control de la reproducción en tilapia son pocos. Ortiz *et al.*, (2000), mediante cromatografía de Sedaphex 100, determina la presencia de una gonodotrofina de 32 KDa en la hipófisis de tilapia y homóloga a FSH de mamíferos. La respuesta de esta gonodotrofina *in vitro*, en células de carpa común (*Cyprinus carpio*), es positiva a concentraciones de 10µg hasta 50 µg /g de peso vivo. Aizen *et al.*, (2007), demuestra que el uso de gonodotrofinas recombinantes de tilapia, genera respuestas *in vitro* de 11 KT y E<sub>2</sub>. El tiempo de respuesta es de 6 horas post inyección para hembras y machos y los valores tienden a normalizarse después de 24 – 26 horas. En todos los casos, los autores mencionan que las secuencias aminoacídicas de tilapia son únicas para la especie.

El uso de PC en tilapia no brinda resultados positivos. Los rangos obtenidos en este estudio determinan una respuesta de 1600 hasta 1750 ng E<sub>2</sub>/mL. Rana *et al.*, (1988), determina que la inducción hormonal no es bien aceptada por cíclidos en general y la tasa de fecundidad y eclosión es deficiente. Pullin *et al.*, (1987) en varios estudios demuestra, que el uso de CP y de HCG no son efectivas para la inducción, es así que a concentraciones de 50 UI de HCG obtuvo hasta 3 desoves en 6 meses, sin embargo por puestas naturales, el desove fue superior, tanto por fecundidad y porcentaje de alevinos a nado libre. Shelton, (1999) usa LH análoga comercial (10 mg/kg) y HCG (3500 UI/kg) en una sola dosis en tilapia. La tasa de supervivencia llega al 9% y con una clara reabsorción intraovárica y ovas atrésicas.

La acción de FSH y LH de pituitaria de carpa (PC) es positiva en células de laydig de cobayo y ovarios de trucha arco iris con una producción de 2,2 a 3, 3 ng T/mL y de 2800 a 3000 pg E<sub>2</sub>/mL respectivamente. Estudios relacionados al control de la reproducción en cobayos determinan rangos basales de testosterona de 0,95 a 1 ng/mL. Bajo la acción de HCG, a una concentración de 2,5 UI/mL obtienen rangos de 4 -6 ngT/mL. (Chauca *et al.*, 1994) La respuesta con pituitaria de tilapia y carpa es positiva, generando rangos que varían de 1,5 hasta 3,5 ng T/mL. Cabe recalcar que la homología de secuencias aminoacídicas entre Cobayo mejorado y *Cyprinus carpio* está en el orden del 41% (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

El uso de tecnologías y pruebas *in vitro* permiten validar la actividad biológica de diferentes principios activos, generando respuestas rápidas y confiables. La dosis efectiva tentativa, para pruebas *in vivo* con PT, sería de 10 mg PT/mL a un volumen de 5 µL.

## REFERENCIAS

1. Aizen, J., Kasuto, H., Matan, G., Zakay, H. & B. Levavi. 2007. Tilapia Follicle-Stimulating Hormone (FSH): Immunochemistry, Stimulation by Gonadotropin-Releasing Hormone, and Effect of Biologically Active Recombinant FSH on Steroid Secretion. *Biology of Reproduction* 76, 692–700.
2. Bonnet, E., Fostier, A. & J., Bobe. 2007. Microarray-based analysis of fish egg quality after natural or controlled ovulation. *BMC Genomics*, 8:55.
3. Cornish, Daryl. 1998. Seasonal steroid hormone profiles in plasma and gonads of the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Water*
4. Chauca, Lilia. 1994. Sistemas de Producción de cuyes. INIA – Perú. Tomo II. 99 pags.
5. Food and Agriculture Organization (FAO). Fish Stat, 2010. [www.fao.org](http://www.fao.org)
6. Gowaty, P.A., 1994. Architects of sperm competition. *Trends Ecol.Evol.* 9, 160–162.

7. Isaev, Anatoli. 1968. Metodología del Desarrollo para el tratamiento y procesamiento de hipófisis de peces, para la preparación de hipofisación. Ministerio de pesquería de la URSS, pp 10.
8. Kazeto, Y., Kohara, M., Miura, T., Miura, Ch., Yamaguchi, S., Trant, J., Adachi, S. & K. Yamauchi. 2008. Japanese Eel Follicle-Stimulating Hormone (Fsh) and Luteinizing Hormone (Lh): Production of Biologically Active Recombinant Fsh and Lh by Drosophila S2 Cells and Their Differential Actions on the Reproductive Biology. *BIOLOGY of Reproduction* 79, 938–946.
9. Kellogg, K.A., Markert, J.A., Stauffer, J.R., Kocher, T.D., 1995. Microsatellite variation demonstrates multiple paternity in lekking cichlid fishes from Lake Malawi, Africa. *Proc. R. Soc. Lond., Ser. B* 260, 79–84.
10. Ko, H., Park, W., Kim, D., Kobayashi, M. & Y. Sohn. 2007. Biological activities of recombinant Manchurian trout FSH and LH: their receptor specificity, steroidogenic and vitellogenic potencies. *Journal of Molecular Endocrinology* 38, 99–111
11. Muñoz – Cueto, J. 2009. La Reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura. Capítulo II: regulación y control hormonal del proceso reproductor de los teleósteos. Ed. fundación Observatorio español para la Acuicultura, Madrid, 2009. 699 pp
12. Ortiz, B, Ramírez, C. & R. Cárdenas. 2000. Obtención de una fracción con actividad gonadotrópica de la hipófisis de la tilapia *Oreochromis niloticus*. *Hidrobiología* 10(2): 79-84.
13. Pullin, E. 1987. Synchronus spawning of Nile tilapia through hypophysation and temperature manipulation. The 2<sup>nd</sup> international symposium on tilapia in Aquaculture.
14. Rana, K. J. 1988. Reproductive biology and the hatchery rearing of tilapia eggs and fry. Pages 343–406 in J.F. Muir and R. J. Roberts, editors. *Recent advances in aquaculture*, Vol. 3. Crook Helm, London, UK.
15. Shelton, W. L. 1999. Nile tilapia gamete management for chromosome manipulation. *In*: K. McElwee, D. Burke, M. Niles, and H. Egn (Editors), *Sixteenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP*, Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp. 10
16. Srisakultiew, P. 1993. Studies on the reproductive biology of *Oreochromis niloticus* L. Tesis of Doctor of Philosophy to the University of Stirling. Scotland U.K. pp 267.
17. Valladares, L., Erices, A., Lioli, X. & H. Iturriaga. 1999. Characterization of the oligosaccharides of plasma sex hormone binding globulin noncirrhotic alcoholic patients. *Steroids* 65.275-280.
18. Valladares, L., Ronco, A. & A. Pino. 1986. RNA synthesis in the Leydig cells during sexual maturation in the rat: Effect of the LH. *J. Endocrinology* 110: 551-556.
19. <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>



# EFFECTO DE LA INTERACCIÓN DE HONGOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES Y *PSEUDOMONAS FLUORESCENS* SOBRE EL DESARROLLO Y LA NUTRICIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE ÁRBOL (*SOLANUM BETACEUM*)

Echeverría Elsa Johana.<sup>1</sup>, Ponce Lourdes Karina.<sup>2</sup>, Medina María Emilia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Microbiología del Suelo  
Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Sangolquí, Ecuador

<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería en Biotecnología  
Departamento de Ciencias de la Vida  
Escuela Politécnica del Ejército  
Sangolquí, Ecuador.

## RESUMEN

El cultivo de tomate de árbol es una especie frutal de gran aceptación en el mercado nacional e internacional, por su calidad organoléptica y sus propiedades medicinales. Por ello, es necesario contribuir a mejorar la nutrición y desarrollo de este cultivo mediante el uso de microorganismos benéficos de la rizósfera, ya que la microbiota ha sido deteriorada por el uso intensivo de fertilizantes químicos, que han provocado una dependencia de las especies vegetales hacia los productos sintéticos. En la presente investigación se utilizaron dos tipos diferentes de biofertilizantes (microorganismos nativos de tomate de árbol) uno constituido por un consorcio de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y otro formado por rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) *Pseudomonas fluorescens*. Al finalizar el ensayo (después de cuatro meses) se observó un mayor desarrollo vegetal en las plantas co-inoculadas con HMA y la cepa Z5P6 (en concentración de  $6,0 \times 10^8$  UFC/ml) presentando incrementos, respecto a los controles una vez en la altura, dos veces en el área foliar y tres veces en la biomasa aérea. Tanto las plantas micorrizadas como las co-inoculadas (con HMA y *P. fluorescens* cepa Z5P6) mostraron una mayor absorción de fósforo y nitrógeno en comparación con aquellas con inoculación simple de rizobacterias, probablemente, debido a la capacidad que presentan los microorganismos para descomponer la materia orgánica, logrando movilidad y mayor asimilación de nutrientes.

## ABSTRACT

The sweet tomato crop is a fruit species of great acceptance in the national and international markets for their organoleptic and medicinal properties. Therefore, it's necessary to contribute to improve nutrition and development of this crop with the use of beneficial microorganisms on the rhizosphere, microbiota that has been damaged by the intensive use of chemical fertilizers, which in turn have led to dependence on plant species to synthetic products. In the present investigation it was used two different types of biofertilizers (native microorganisms of sweet tomato): one formed by a consortium of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and other formed by plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) *Pseudomonas fluorescens*. At the end of the test (four months) the results showed greater growth for co-inoculated plant with AMF and Z5P6 strain (at a concentration of  $6.0 \times 10^8$  UFC/ml) showing an increase one time the height, twice the leaf area and three time the aerial biomass and root weight compared to control plants. Both mycorrhizal plants as co-inoculated (AMF and *P. fluorescens* Z5P6 strain) showed a greater absorption of

phosphorus and nitrogen compared with those with single inoculation of rhizobacteria and control group, probably, these results were due to the ability of microorganisms to decompose organic matter, achieving greater mobility and assimilation of nutrients.

## 1 INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol es una especie frutal reconocida por sus atributos organolépticos y propiedades nutricionales. Por ello, es necesario contribuir a mejorar la nutrición y desarrollo de este cultivo mediante el fortalecimiento de una agricultura sustentable, con el uso de biofertilizantes (microbiota nativa del cultivo en estudio) ayudando a preservar el medio ambiente y a la vez mejorando la calidad de vida. Los biofertilizantes son microorganismos capaces de producir efectos beneficiosos en estadios tempranos de las especies vegetales, mejorando el desarrollo de la biomasa de las raíces y brotes de la plantas, aumentando la germinación de plántulas, vigor, altura, contenido de nutrientes, presencia de clorofila, acelerando el tiempo de floración y brindando protección frente a fitopatógenos radicales (Saharan, B.S. & Nehra, V., 2011).

Entre los biofertilizantes utilizados en el presente ensayo se aplicaron hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y rizobacterias *Pseudomonas fluorescens*. Los primeros realizan simbiosis con las raíces de las especies vegetales suplementando de agua y nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) a la planta. En retribución, la especie vegetal le provee de carbohidratos y un nicho para su desarrollo (Parniske, 2008). Por su parte las *P. fluorescens* colonizan el sistema radicular de las plantas produciendo reguladores de crecimiento vegetal y aportando en la nutrición de las plantas mediante la solubilización de ciertos elementos como el fósforo y el nitrógeno (Ferrera y Alarcón, 2001).

Cuando estos dos microorganismos están presentes dentro de la rizósfera, las *P. fluorescens* facilitan la penetración de los HMA facilitando la simbiosis con las plantas, mediante la degradación de las paredes celulares y la laminilla media entre las células de la corteza de la raíz a través de la exudación de enzimas específicas que ayuden al proceso (Garbaye J, 2007).

En la presente investigación se utilizó un consorcio de hongos micorrícicos arbusculares y rizobacterias *Pseudomonas fluorescens* durante las primeras fases de crecimiento de plántulas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) cuya co-inoculación mejoró la absorción de nutrientes y el desarrollo del cultivo en estudio.

## 2 METODOLOGÍA

Se realizaron muestreos en diferentes zonas de las provincias de Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua con cultivos de tomate de árbol semiorgánicos para el aislamiento de HMA y rizobacterias *Pseudomonas fluorescens*.

### 2.1 Identificación y multiplicación de los HMA

Inicialmente para la identificación de las micorrizas se utilizó la técnica de tamizado húmedo y decantación propuesta por Gerdeman y Nicholson, 1963, modificada por Herrera *et al.*, 2004 y para determinar el porcentaje de colonización micorrícica se aplicó la metodología de Phillips y Hayman, 1970. Se seleccionó el sitio de muestreo con mayor número de esporas, para su posterior multiplicación del inóculo de HMA en cultivos trampa de avena durante tres meses.

## 2.2 Identificación y selección de *Pseudomonas fluorescens*

Se estandarizó la técnica para aislar e identificar las rizobacterias en estudio. Para ello se realizaron dos procesamientos, uno de raíces y otro de rizósfera. A partir de una solución madre se realizaron diluciones seriadas hasta  $10^{-5}$ , de cada una, se sembraron por duplicado en Pseudomonas Isolation Agar (Difco), se incubaron a 28°C durante 24h. Se aislaron colonias de posibles *Pseudomonas* sp. y se inocularon por duplicado en cajas Petri con medio Agar Pseudomonas F (Himedia). Se observó uno de cada duplicado, bajo una lámpara de luz UV (254nm) y se seleccionaron las colonias fluorescentes. El duplicado se purificó en medio de cultivo Trypticase Soy Agar (Becton, Dickinson Co.) a fin de realizar la tinción Gram y pruebas bioquímicas según el Manual de Bacteriología Sistemática de Bergey 2005 (Palleroni, N. J., 2005) para la identificación de los posibles ejemplares de la especie en estudio *P. fluorescens*.

De los aislados identificados como *P. fluorescens*, se seleccionaron tres cepas para la aplicación en el ensayo, según su capacidad de solubilizar fosfato inorgánico (fosfato tricálcico) mediante una prueba cualitativa según el protocolo de Arvind G., *et al.*, 2007.

## 2.3 Mantenimiento del ensayo

El ensayo se desarrolló en un período de cuatro meses. Inicialmente las plántulas de tomate de árbol fueron infectadas con 180g de inóculo (que contenía 655 esporas de HMA) quedando una disolución final de 1,09 esporas por gramo de suelo en cada maceta. Después de 30 días se colocaron las tres cepas de *P. fluorescens*: Z2P6, Z5P5 y Z5P6 en dos concentraciones  $1.5 \times 10^8$  y  $6.0 \times 10^8$  UFC/ml, según el diseño experimental.

# 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 3.1 Evaluación del desarrollo de las plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

Los resultados de las variables de crecimiento (altura, perímetro, área foliar, biomasa aérea y radical) fueron analizados mediante ANOVA, utilizando una prueba de Tukey al 5%, durante la evaluación después de 120 días de ensayo. (Tabla 1). De manera general se observa que los tratamientos de HMA en combinación con *P. fluorescens* presentan los mayores rangos de significancia estadística, seguidos por los tratamientos con inoculación simple de rizobacterias que superan a las plantas control.

#### 48 Echeverría Elsa Johana, Ponce Lourdes Karina, Medina María Emilia

**Tabla 1.** Efecto de la inoculación simple y combinada de los HMA y las cepas de *P. fluorescens* en concentraciones de  $1.5 \times 10^8$  y  $6.0 \times 10^8$  UFC/ml sobre el desarrollo del tomate de árbol.

Tratamientos	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Biomasa aérea fresca (g)	Biomasa radical fresca (g)
M1_B3.2	18,70 a	65,88 a	12,07 a	8,93 a
M1_B3.1	18,41 ab	63,10 a	11,42 a	8,75 a
M1_B2.2	17,83 abc	56,90 a	11,00 a	8,52 a
M1_B2.1	17,14 abc	64,30 a	10,99 a	8,26 a
M1_B1.2	16,30 abc	61,26 a	10,92 ab	7,78 ab
M1_B1.1	15,46 c	57,40 a	10,34 ab	7,36 ab
M1_B0	16,10 bc	60,22 a	11,12 a	8,59 a
M0_B3.2	10,22 de	32,89 bc	6,71 c	4,20 cd
M0_B3.1	11,33 d	40,89 b	8,42 bc	5,69 bc
M0_B2.2	9,54 de	27,33 bc	6,14 c	4,30 c
M0_B2.1	10,31 de	28,67 bc	6,07 c	4,38 c
M0_B1.2	10,42 de	25,56 c	6,97 c	4,24 c
M0:B1.1	10,33 de	28,67 bc	6,73 c	4,52 c
M0_B0	8,57 e	19,42 c	3,32 d	1,99 d

**M0=** sin HMA, **B0=** sin bacterias, **M1=** con 1.09 esporas/g

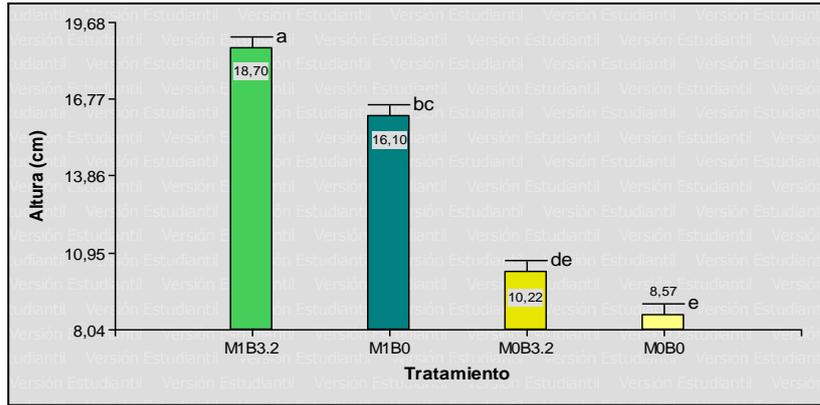
**B1.1=** *P. fluorescens* Z2P6 en conc.  $1.5 \times 10^8$  UFC/ml, **B1.2=** *P. fluorescens* Z2P6 en conc.  $6.0 \times 10^8$  UFC/ml,

**B2.1=** *P. fluorescens* Z5P5 en conc.  $1.5 \times 10^8$  UFC/ml, **B2.2=** *P. fluorescens* Z5P5 en conc.  $6.0 \times 10^8$  UFC/ml,

**B3.1=** *P. fluorescens* Z5P6 en conc.  $1.5 \times 10^8$  UFC/ml, **B3.2=** *P. fluorescens* Z5P6 en conc.  $6.0 \times 10^8$  UFC/ml.

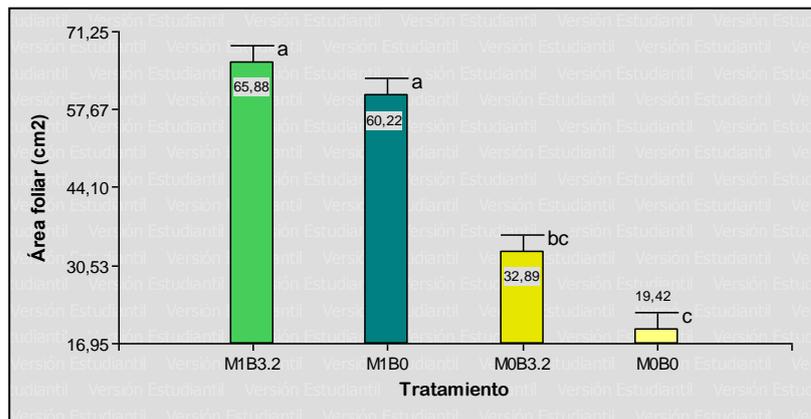
Dentro de cada columna, letras idénticas son estadísticamente iguales según el test de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Como se muestra en la Tabla 1 y Figura 1, los valores promedios del tratamiento de co-inoculación entre la cepa Z5P6 de *P. fluorescens* y el consorcio de HMA mejora la altura de las plantas de tomate de árbol, siendo estadísticamente diferente de los demás tratamientos del ensayo. Según Cuesta y colaboradores (2004) esta respuesta positiva de las plantas a la inoculación dual disminuye el período de estancia de la especie vegetal en vivero y produce plántulas de mejor calidad fisiológica. Similares resultados fueron obtenidos por este autor con la inoculación doble de *P. fluorescens* y *Glomus mosseae* en plantas forestales de *Swietenia macrophylla x mahagoni*. Además, Staley y otros (1992) encontraron que al inocular *P. fluorescens* y HMA en plantas de alfalfa y trébol incrementaron en un 23% la altura respecto a los controles. Comparando los resultados de la altura en las plantas de tomate de árbol del presente ensayo, se logró un incremento de una vez con la aplicación dual en comparación con el tratamiento control.



**Figura 1.** Efecto de la interacción simple y combinada entre los HMA y la cepa Z5P6 de *P. fluorescens* sobre la altura de las plantas de tomate de árbol.

Los valores promedios de la aplicación en conjunto de micorrizas y *P. fluorescens* y la inoculación simple de HMA presentaron el mismo nivel de significancia estadística en relación al área foliar (ver Tabla 1 y Figura 2) pero ambos tratamientos incrementaron el área foliar en relación a las plantas control.



**Figura 2.** Efecto de la interacción entre los HMA y la cepa Z5P6 sobre el área foliar

Las plantas inoculadas con la combinación de HMA y *Pseudomonas fluorescens* presentan un valor promedio de la biomasa aérea y radicular estadísticamente igual al alcanzado por la aplicación simple de micorrizas, no obstante superiores a los tratamientos con la adición simple de rizobacterias y al control (ver Tabla 1. Figura 3). Similares resultados fueron obtenidos por Cuesta y colaboradores (2004) donde la co-inoculación HMA-bacterias y la inoculación exclusiva de micorrizas superan significativamente al testigo en peso seco de las plántulas de *Swietenia macrophylla x mahagoni*. Con estos resultados se evidencia que el consorcio de HMA y *P. fluorescens* aplicados sobre las plantas de tomate de árbol intervienen beneficiosamente en el desarrollo de las plántulas. Esto podría deberse a la síntesis de fitohormonas como las auxinas producidas tanto por las micorrizas como por las rizobacterias (Cuesta et. al, 2004).

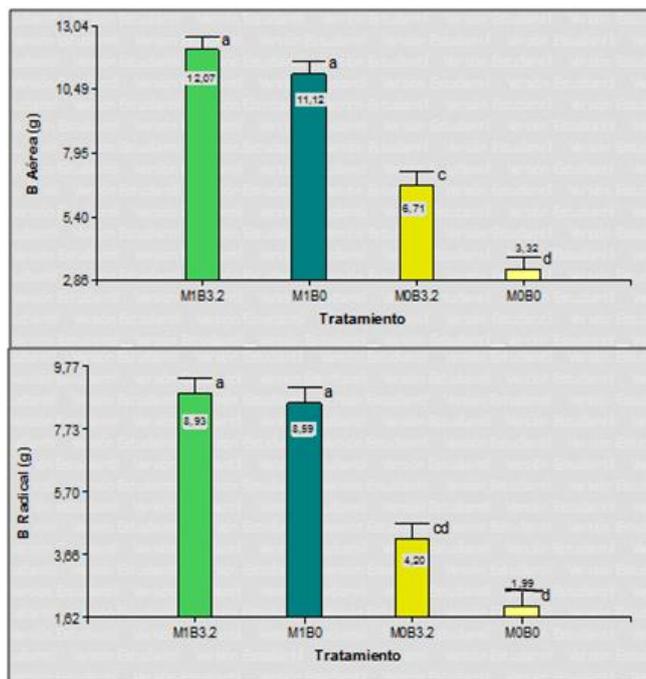


Figura 3. Efecto de la interacción entre HMA y cepa Z5P6 sobre la biomasa aérea y radical de las plantas de tomate de árbol.

### 3.2 Análisis de nutrientes a nivel foliar

En la Figura 4 se puede observar que la mayor absorción de fósforo (P) se encontró en las plantas de tomate de árbol con inoculación dual de micorrizas y la cepa Z5P6 de *P. fluorescens* en comparación con la inoculación simple de rizobacterias. Estas diferencias sugieren que la co-inoculación contribuye a mejorar la absorción del mineral. Barea *et. al*, (1983) indican que la cooperación entre *P. fluorescens* (bacterias solubilizadoras de fosfato) y los HMA es muy provechosa, ya que el P liberado en el suelo por los primeros microorganismos será absorbido por los segundos, que posteriormente lo harán disponible para la planta. De esta manera utilizar estos microorganismos puede llegar a sustituir a una gran cantidad de fertilizantes fosfatados, reduciendo considerablemente gastos energéticos y costos de producción agrícola (Raven, *et. al*, 1992).

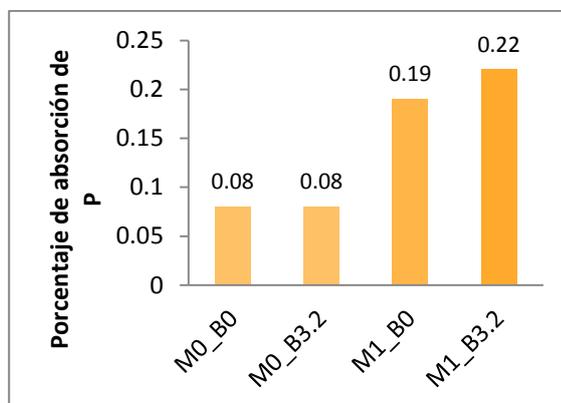
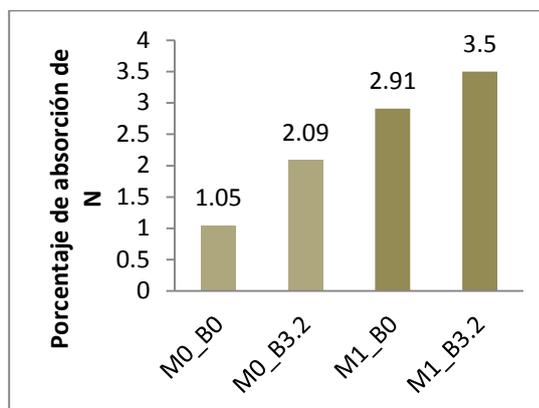


Figura 4. Efecto de la interacción entre los HMA y la cepa Z5P6 sobre la absorción de fósforo en las plantas de tomate de árbol.

La mayor absorción de nitrógeno se presentó en las plantas co-inoculadas con HMA y *Pseudomonas fluorescens* (ver Figura 5). Similares resultados fueron obtenidos con la inoculación doble entre *Glomus* sp. cepa Zac19 y *Pseudomonas aeruginosa* cepa 11PS, que mejoraron el contenido de nitrógeno en plantas de alfalfa (Chamizo, A., *et al.*, 2009).



**Figura 5.** Efecto de la interacción entre los HMA y la cepa Z5P6 sobre la absorción de nitrógeno en las plantas de tomate de árbol

#### 4 CONCLUSIONES

El porcentaje de supervivencia fue del 90% (126 plantas) de las cuales aquellas co-inoculadas con hongos micorrícicos arbusculares y la cepa Z5P6 de *P. fluorescens* (en concentración de  $6,0 \times 10^8$  UFC/ml) presentaron el mejor crecimiento del tomate de árbol, aumentando la altura en 1 vez, el área foliar en 2, la biomasa aérea y peso radicular en 3 veces respecto a los controles.

Las plantas micorrizadas y co-inoculadas con HMA y *P. fluorescens* cepa Z5P6 mostraron una mayor absorción de fósforo y nitrógeno, en contraste con las plantas control y aquellas con inoculación simple de rizobacterias, debido a la capacidad que presentan los microorganismos para descomponer la materia orgánica, logrando movilidad y mayor asimilación de nutrientes.

#### 5 AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Politécnica del Ejército por el financiamiento en el proyecto ejecutado y al personal del Laboratorio de Microbiología del Suelo, CEINCI-ESPE.

#### REFERENCIAS

1. Arvind G., Praveen, R. and Pratibha, V. (2007). Characterization of Phosphate-Solubilizing Fluorescent *Pseudomonads* from the Rhizosphere of Seabuckthorn Growing in the Cold Deserts of Himalayas. *Curr Microbiol*, 56:73–79.
2. Barea, J. M.; Azcón, R., y Azcón-Aguilar, C. (1983). Interactions between phosphate solubilizing bacteria and VA mycorrhiza to improve plant utilization of rock phosphate in non acidic soils. 3rd International Congress on Phosphorus Compounds.
3. Chamizo, A.; Ferrera-Cerrato, R.; González-Chávez, M. C.; Ortiz-Solorio, C. A.; Santizo-Rincón, J. A.; Varela, L. y Alarcón, A. (2009). Inoculación de alfalfa con hongos micorrícicos

## 52 Echeverría Elsa Johana, Ponce Lourdes Karina, Medina María Emilia

- arbusculares y rizobacterias en dos tipos de suelo. TERRA Latinoamericana, Volumen. 27, Número.3, p. 197-205.
4. Cuesta I., Ferrer A. y Rengifo E. (2004). Importancia de la inoculación dual de bacterias y *Glomus mosseae* sobre crecimiento y micorrización de plántulas de *Swietenia macrophylla* x *Mahagoni*. Revista Forestal Baracoa, 23: p 67–72.
  5. Ferrera, R. y Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible, Ciencia Ergo Sum, 8: p175-183.
  6. Garbaye J. (2007). Helper Bacteria: A New Dimension to the Micorrhizal Symbiosis. 128: p128-207.
  7. Herrera-Peraza R, Furrázola E, Ferrer R, Fernández R. and Torres Y. (2004). Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. Revista CENIC Ciencias Biológicas, 35: p113-123.
  8. Jaizme Vega M. C. y Rodríguez Romero, A. (2008) Integración de microorganismos benéficos (Hongos micorrícicos y Bacterias rizosféricas) en Agrosistemas de las Islas Canarias, Agroecología 3: 33-39.
  9. Palleroni, N. J. (2005). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. (Vol 2, Part B). New York: Springer, 323-370.
  10. Parniske, Martín. (2008). Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. Nature Reviews Microbiology, Vol6: p763-773.
  11. Phillips, J & Hayman D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mychorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans. Br. Mycol. Soc 55: 158-161.
  12. Raven, Peter H., Evert Ray F y Eichhorn, Susan E. (1992). Biología de las plantas. Volumen 2. Capítulo 26, p 526-528. Editorial Reverté, S.A.
  13. Saharan, B.S. y Nehra, V. (2011). Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. Life Sciences and Medicine Research. LSMR-21.
  14. Staley, T.E., Lawrence, E.G., and Nance, E.L. (1992). Influence of a plant growth-promoting pseudomonad and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on alfalfa and birdsfoot trefoil growth and nodulation. Biology and Fertility of Soils, 14: p175-180.

# MODELO GEOMÉTRICO DEL FOCO DEL SISMO DE BAEZA, NAPO- ECUADOR 1987, A PARTIR DE DATOS MACRO SÍSMICOS

Dr. Roberto Aguiar Falconi<sup>(1)</sup>, Katyuska M. Sangurima Reinoso<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Correo Electrónico: rraguiar@espe.edu.ec

<sup>(2)</sup>Ingeniería Civil  
Escuela Politécnica del Ejército

## RESUMEN

El estudio de los parámetros macrosísmicos de un sismo de importancia en el país, en este caso, el sismo de Baeza de 1987, permite identificar correctamente, parámetros de gran importancia, como profundidades focales y modelos de ruptura, que las técnicas instrumentales no consideran en la definición de sus epicentros.

Este análisis emplea la metodología de Blake-Shebalin para llevar a cabo dicho proceso y obtener resultados de fácil interpretación, profundizando las características, importancia y efectos que tuvo el sismo analizado para nuestro país, y generando modelos de ruptura del foco sustentados en las gráficas de isosistas obtenidas de las publicaciones de Egred (1999).

## ABSTRACT

The study of macroseismic parameters of a major earthquake in the country, in this case, the 1987 earthquake Baeza, correctly identifies important parameters such as focal depths and rupture models that do not consider the instrumental techniques in defining their epicenters.

This paper uses the methodology of Blake-Shebalin to perform this analysis and achieve results of easy interpretation, deepening the characteristics, importance and effects of the analyzed quake for our country, and generating source rupture models supported by the graphs of isosists obtained from Egred's publications (1999).

## 1. INTRODUCCIÓN

El análisis sistemático de los datos macro sísmicos, e información sobre la intensidad de un terremoto fuerte en diferentes puntos de la superficie terrestre, permite realizar la reconstrucción de su foco; entendiendo éste no como una fuente puntual, sino como la mínima región suficientemente isométrica, dentro de la cual se encierran todas las deformaciones iniciales irreversibles, que ocurren junto con el terremoto dado.

Utilizando un conjunto de datos del campo macro sísmicos en el presente trabajo se resuelve, para el terremoto del 5 de Marzo de 1987, ocurrido en Baeza, Napo – Ecuador, el problema inverso de la macro sísmica, que consiste en la determinación del tamaño y posición de su foco.

Es decir, mediante la aplicación del método de Shebalin, se pretende detallar las características de los campos macro sísmicos locales y normales, así como también otros

parámetros fundamentales de la fuente como profundidad normal, profundidad local, extensiones verticales, extensiones horizontales.

## 2. RESEÑA HISTÓRICA DEL SISMO DE BAEZA 1987

El 5 de marzo de 1987, dos terremotos ( $M_s=6,1$  a las 20:54 tiempo local y  $M_s=6,9$  a las 23:10 tiempo local) ocurrieron a lo largo de las laderas orientales de los Andes al Noreste del Ecuador. Los epicentros fueron localizados en la Provincia de Napo, aproximadamente 100 km al Noreste de Quito y 25 km al Norte del volcán El Reventador. (Instituto Geofísico EPN, 2012)

El sismo de las 23:10, que corresponde a este análisis, fue sentido en un área de al menos 93 000 km<sup>2</sup>, cuyo epicentro instrumental se localizó en las coordenadas  $\varphi = 0^{\circ}4'48''$  latitud Sur,  $77^{\circ}48'00''$  longitud oeste, con una profundidad focal de 10 km, en el sector ubicado frente al volcán Reventador y el monte Saraurco, 40km al norte de Baeza, 75 km al este de Quito y 60 km al sur de Ibarra.

La ubicación de los epicentros coincide con un lineamiento tectónico de rumbo N30-40E, que está relacionado a una familia de fallas de la misma dirección, que es característica de la zona de cabalgamiento de la región subandina. Existe evidencia de campo respecto al carácter activo de este sistema de fallas, junto con otro conjugado de dirección E-W. (Dirección Nacional de Defensa Civil, 1988)

Según un informe presentado por Naciones Unidas, a través de su comisión económica para Latinoamérica y el Caribe (CELAC), el desastre natural que devastó al Ecuador en los primeros días de marzo de 1987, comenzó con dos severos terremotos, cuyos efectos se sintieron en menor escala dentro de las provincias del Carchi, Imbabura y Pichincha y con efectos destructivos, en las provincias amazónicas del Napo y Pastaza, que fueron seguidos por una serie de eventos que ocasionaron daños considerables en la población y afectaron seriamente a su economía.



**Figura 14** Destrucción total de la basílica La Dolorosa (Ibarra)

Deslizamientos de rocas y tierra, avalanchas de escombros y flujos de lodo inundaron esta zona oriental de los Andes, principalmente en ciertas zonas de la provincia de Napo, donde estas gigantescas movilizaciones de tierra modificaron la geometría del valle del Río Coca, provocando gravísimos daños en el oleoducto transecuatoriano y la carretera Quito-Lago Agrio. "...Los deslizamientos ocurridos en los flancos de los valles de casi todos los ríos de esta zona, originaron enormes flujos de lodo que se desencadenaron desde el río Coca, al

que lo represaron en varias oportunidades, inmediatamente después de los sismos.” (Dirección Nacional de Defensa Civil, 1988)



**Figura 15** Uno de los tramos de la carretera de acceso al Oriente Ecuatoriano

La principal consecuencia económica que sufrió el país fue el gran impacto en la producción ecuatoriana de petróleo, debido a los serios daños del oleoducto transecuatoriano. De acuerdo a la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe, en 1987 los campos petrolíferos ecuatorianos habrían producido alrededor del 60% de las divisas de exportación del país, por lo que fue severamente afectada la capacidad del Ecuador de hacer frente a sus costos de operación interna y realizar los pagos de los interés de su deuda externa. En las semanas siguientes a los terremotos, el Gobierno Nacional dictó algunas severas medidas económicas, incluyendo la suspensión del pago de la deuda externa a los bancos privados, incrementó los precios de los combustibles, un plan nacional de austeridad y un congelamiento de los precios de un conjunto seleccionado de productos esenciales. (Escuela Politécnica Nacional, abril 2000)



**Figura 16** Setenta kilómetros del Oleoducto Transecuatoriano fueron afectados

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Caracterización del campo macrosísmico.

El campo macrosísmico es el área alrededor del epicentro donde pueden ser observados los efectos dejados por un terremoto. Existen dos campos macrosísmicos, el primero, es la zona donde se presentan las máximas intensidades y es denominado **Campo Macrosísmico Local**, está influenciado por las estructuras locales y se verá reflejado en las tendencias de las isosistas mayores; el segundo hace referencia al **Campo Macrosísmico Normal**, donde se manifiesta el efecto de las estructuras regionales. Por lo general los daños son menores y cubre una mayor extensión. No siempre es posible observar en un mapa de isosistas los dos campos macrosísmicos debido a que este depende de los parámetros focales del sismo.

Su caracterización se puede realizar mediante la formulación matemática de Shebalín (1974) en base a una relación entre la intensidad en algún punto  $I_i$  con la magnitud del terremoto  $M$  ( $M_b$ ), la distancia epicentral  $D_i$  y la profundidad del foco  $h$ , con lo que se tiene la fórmula:

$$I = bM - \gamma \lg \sqrt{\Delta^2 + h^2} + C \quad (1)$$

Donde:  $b$  es una constante con un valor promedio de 1.5;  $M$  ( $M_b$ ) es la magnitud del sismo;  $\gamma$  y  $C$  son coeficientes de atenuación macrosísmica, que relacionan la intensidad en algún punto  $I_i$  con la magnitud del terremoto  $M$ , la distancia epicentral  $\Delta_i$  y la profundidad normal del foco  $h$ , la misma que se calcula mediante la relación:

$$h_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\bar{R}_i}{\sqrt{10^{2(I_i - I_r)/r} - 1}} \quad (2)$$

Dónde:  $N$  es el número de isosistas del campo normal y  $R_i$  la sumatoria de los radios de las isosistas consideradas. Shebalín (1968, 1971)

Aquí y en lo sucesivo, el foco del terremoto se entiende como la mínima región suficientemente isométrica, dentro de la cual se encierran todas las irreversibles deformaciones iniciales que ocurren junto al terremoto dado. Lo dicho significa que el foco del terremoto puede considerarse puntual solo si éste se ubica en una distancia suficientemente lejana del punto de observación, es decir, cuando la distancia hipocentral de todas las subfuentes de los semifocos, quedan al lado del observador y satisfacen la condición:

$$D_{\min} < D < kD_{\min} \quad (3)$$

Dónde:  $D$  es la distancia hasta la parte cercana del foco;  $k = 1.5$  y  $D_{\min}$  es la distancia mínima entre el punto definido como  $P_i$  y los subfocos.

Para los más cercanos al punto de observación de los focos, se ponen en manifiesto los efectos locales del campo macrosísmico. Así, el foco se puede considerar como un punto para todas las distancias epicentrales:

$$D_i = \sqrt{\Delta_i^2 + hn^2} \quad (4)$$

Donde:  $hn$  es la profundidad del foco normal.

➤ **Coefficientes de Blake-Shebalín  $\gamma$  y  $C$ .**

Son coeficientes que definen la atenuación de la intensidad con respecto a la distancia, además de la dispersión y la absorción de las ondas sísmicas.

$$\gamma = \frac{N[\sum(P_i * T_i)] - (\sum P_i)(\sum T_i)}{\Delta} \quad (5)$$

$$C = \frac{(\sum P_i^2)(\sum T_i) - (\sum P_i)(\sum P_i T_i)}{\Delta} \quad (6)$$

Para su cálculo es necesario conocer:  **$N$** , el número de isosistas que pertenecen al campo macrosísmico;  **$P_i$** , corresponde al logaritmo del radio de las isosistas;  **$I_0$** , es el grado de intensidad de cada isosista; y de manera adicional:

$$T_i = 1.5M - I_0 \quad (7)$$

$$\Delta = N(\sum P_i^2) - (\sum P_i)^2 \quad (8)$$

Vale la pena resaltar que dichos valores varían para cada sismo, debido a que dependen de las isosistas involucradas en el campo macrosísmico.

**3.2. Efectos de extensión del foco**

La determinación de las dimensiones y ubicación del foco principal, a partir de la exploración de los mapas de isosistas, se da por la resolución al problema inverso de la macrosísmica, que básicamente consiste en definir las relaciones fundamentales entre la profundidad del foco del terremoto  **$h$**  y las dos dimensiones lineales del foco, es decir, sus extensiones horizontal  **$l_x$**  y vertical  **$l_z$** . En este caso, profundidad del foco se entiende el centroide de irradiación de la energía macrosísmica y no la profundidad del hipocentro, es decir, el punto donde se inicia la ruptura.

➤ **Extensión horizontal del foco**

De acuerdo con Shebalín (1974), se puede considerar en promedio la relación entre la magnitud y las dimensiones de la ruptura en un terremoto y establecerla de la siguiente manera:

$$\log L = 0.5M - 1.8 \quad (9)$$

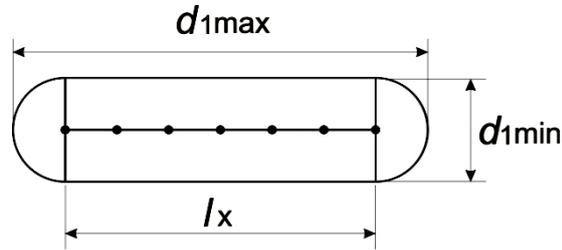
Donde:  **$L$**  es la longitud del segmento de falla activo y  **$M$**  es la magnitud Local.

Cuando  $M > 5$ , la extensión máxima del foco puede ser expresada por la relación

$$\log l_{\max} = 0.7M - 2.8 \quad (10)$$

Un modelo del foco de un terremoto de gran extensión horizontal  **$l_x$** , puede representarse por una cadena de subfocos, como se muestra en la figura. De manera aproximada, **la extensión horizontal podría definirse de acuerdo a la relación  $h < l_x$**

Shebalín (1991). Así, es justo suponer que la forma de la primera isosista hereda la extensión horizontal del foco local; en este caso la absorción anisotrópica en las pequeñas distancias puede despreciarse.



**Figura 17** Modelo del foco de un terremoto de gran extensión horizontal  $l_x$ , mediante una cadena de subfocos (Tomado de Shebalín, 1974).

En términos generales la extensión horizontal del foco puede calcularse a partir de la fórmula

$$l_x = d_{1max} - d_{1min} \quad (11)$$

Donde  $d_{1max}$  y  $d_{1min}$  son los diámetros mayor y menor respectivamente de la primera isosista (contada desde el centro hacia fuera).

Puede suceder que la primera (mayor) isosista, relaciona su aparición al efecto local de la extensión vertical del foco. En estos casos toda la extensión horizontal del foco se manifiesta en la forma de la siguiente isosista libre del efecto local de la misma; de tal manera que  $l_x$  está representado por el promedio de las dos isosistas mayores:

$$l_x = \frac{(d_{1max} - d_{1min}) + (d_{2max} - d_{2min})}{2} \quad (12)$$

La extensión horizontal del foco representa uno de los factores que definen la no concordancia de los epicentros instrumental y macrosísmico. Los otros dos factores son el error de la definición instrumental y las grandes heterogeneidades del medio de la región del foco. Si alguna zona de la elipse de dispersión de los epicentros instrumentales tiene forma cercana a la circular, entonces para las zonas se cumple la relación:

$$l_x \approx 2(\delta_{\perp} - \delta_{\parallel}) \quad (13)$$

Donde  $\delta_{\perp}$  y  $\delta_{\parallel}$  son la proyección de la distancia del epicentro instrumental  $E_i$  hasta el macrosísmico  $E_m$ , tomado a lo largo del eje de la primera isosista y perpendicularmente a ella.

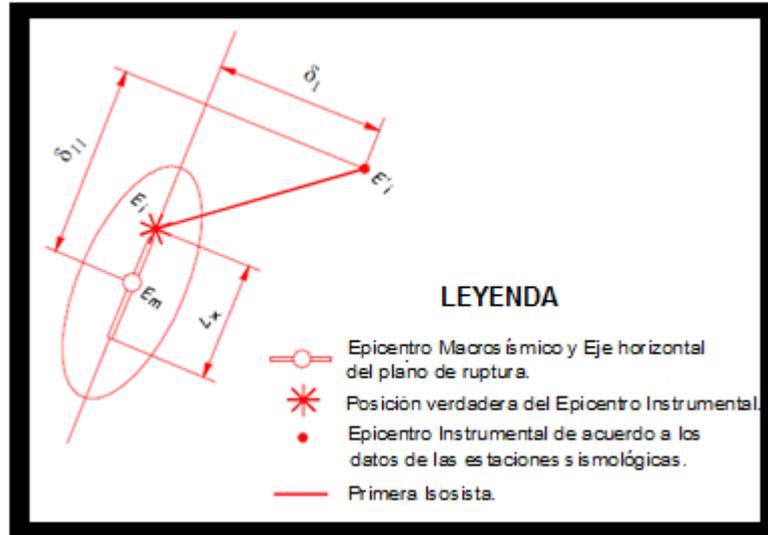


Figura 18 Modelo de Foco de Gran Extensión (Extensión Horizontal del Foco y la no coincidencia de los Epicentros Instrumental y Macrosísmico.)

➤ **Extensión Horizontal del foco**

De acuerdo con **Shebalín** (1974), la extensión vertical del foco puede calcularse a partir de la relación:

$$\log l_z = 0.3M - 0.8 \quad (14)$$

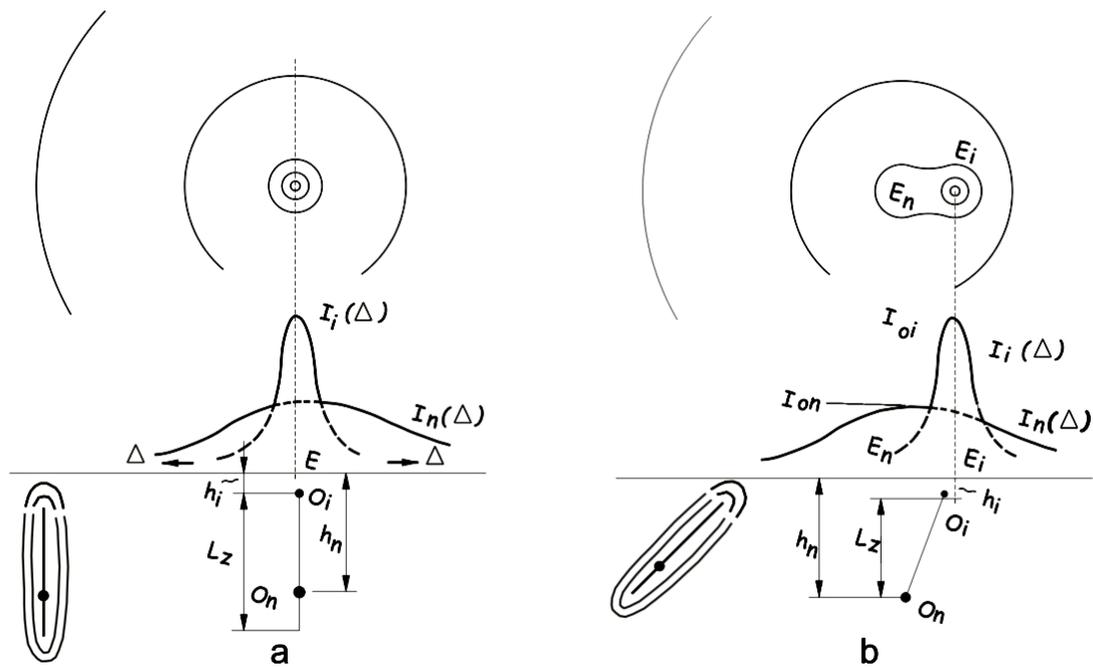
En el caso del foco con gran extensión vertical, se establecen los criterios de existencia del efecto macrosísmico de extensión vertical con:

$$0.3M - 0.7 \geq \log h_n \geq 0.3M - 0.95 \quad (15)$$

Donde:  $h_n$  (km) es la profundidad "normal" del foco. El **primer límite** significa la aparición de la ruptura en la superficie mientras que el **segundo** marca la desaparición del efecto no puntual.

Además del criterio representado por la ecuación (13), los efectos macrosísmicos de la extensión vertical pueden ser revelados por la relación de las áreas de las isosistas vecinas.

Si la curva  $f(i) = S_i / S_{i+1}$  tiene un mínimo o un máximo en la segunda - tercera isosista, entonces, esto significa la existencia del **efecto local**, condicionado por la gran extensión vertical del foco (Fig 6a). Sin embargo, la ausencia de este mínimo no significa la ausencia del efecto de extensión vertical. El efecto local puede ser evidenciado en el caso del **foco inclinado**, cuando el epicentro local  $E_l$  se corre a un lado del epicentro normal  $E_n$  en la mitad del principal sistema de isosistas (Fig 6b).



**Figura 19** a) Existencia del efecto local (gran extensión vertical del foco); b) Efecto Local en el caso del foco inclinado (Tomado de Shebalín, 1974).

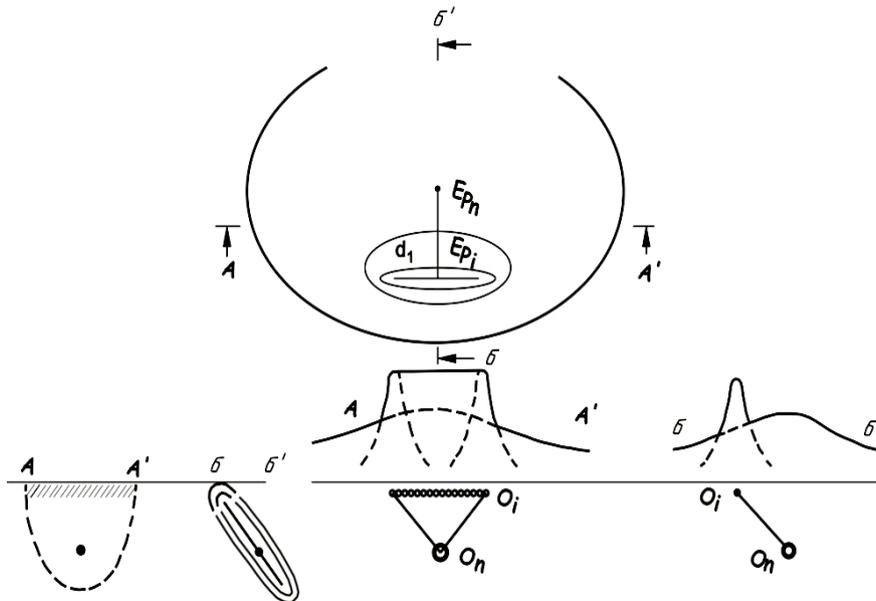
El efecto macrosísmico de extensión vertical del foco, sensiblemente aumenta a causa de que la parte superior del foco de la ruptura se enriquece de las subfuentes (rupturas secundarias) considerablemente en mayor cantidad que la parte inferior, además se crea un exceso de fuentes de radiación “macrosísmica” (de corto periodo) en la parte más superior del foco.

Un buen modelo de foco con gran extensión vertical lo representa el *sistema de dos fuentes* (Fig. 7). Uno de ellos, representa el centro geométrico de la parte principal de foco lo designamos  $O_n$ ; su profundidad la denominamos “**profundidad normal  $h_n$** ”; la magnitud coincide con la magnitud del terremoto en total  $M$ , creando la intensidad normal en el epicentro  $I_{on}$  que se define por la ecuación:

$$I_{on} = bM - \gamma \log h_n + C \quad (16)$$

Y en todo el campo macrosísmico por la ecuación:

$$I_{in} = bM - \gamma \log \sqrt{\Delta^2 + h_n^2} + C \quad (17)$$



**Figura 20** Sistema de dos fuentes que representa un buen modelo de foco con gran extensión vertical. (Shebalin, 1974)

La segunda fuente, que responde al centro de la parte más superior del foco, la designamos por  $O_i$ , su profundidad es  $h_i$ . Según **Shebalin** (1971, 1974), las dimensiones verticales del foco se definen por la relación entre  $h_n$  y  $h_i$ :

$$L_z = 2(h_n - h_i) \quad (18)$$

Sin embargo, esta fórmula se debe corregir en la medida que aumenta la profundidad del foco. La solidez (resistencia) del suelo, sensiblemente crece. De aquí se sigue que el centro de radiación de la energía debe encontrarse por ejemplo a 1/3 desde el límite inferior del foco, de donde **Shebalin** (1971, 1974):

$$L_z = 1.5(h_n - h_i) \quad (19)$$

**Esta es la fórmula base para el cálculo de la extensión vertical del foco.**

Si el efecto macrosísmico de extensión vertical del foco no se expresa, los datos macrosísmicos (cuando se conoce la magnitud), sólo permiten realizar el cálculo para la definición de la profundidad del foco del terremoto, por cuanto son dos métodos independientes.

#### 4. ANÁLISIS DEL CAMPO MACROSÍSMICO

De manera general, en cada uno de los mapas de isosistas se deberá realizar el siguiente análisis previo a su aplicación:

- Cerrado de las líneas de isosistas que no estén completas. Se tiene como criterio la tendencia de las isosistas que se encuentren cerradas, además, debe observarse hasta qué punto puede influir la tectónica regional en la forma de éstas.
- Determinar el Baricentro o Centroide de cada área encerrada por cada isosista. El área es aquella que se encuentra encerrada por cada isosista y no la delimitada entre cada isosista.
- Coordenadas de los baricentros.

- Hallar el área de cada isosista, perímetro, diámetro máximo, diámetro mínimo y radio de cada isosista.

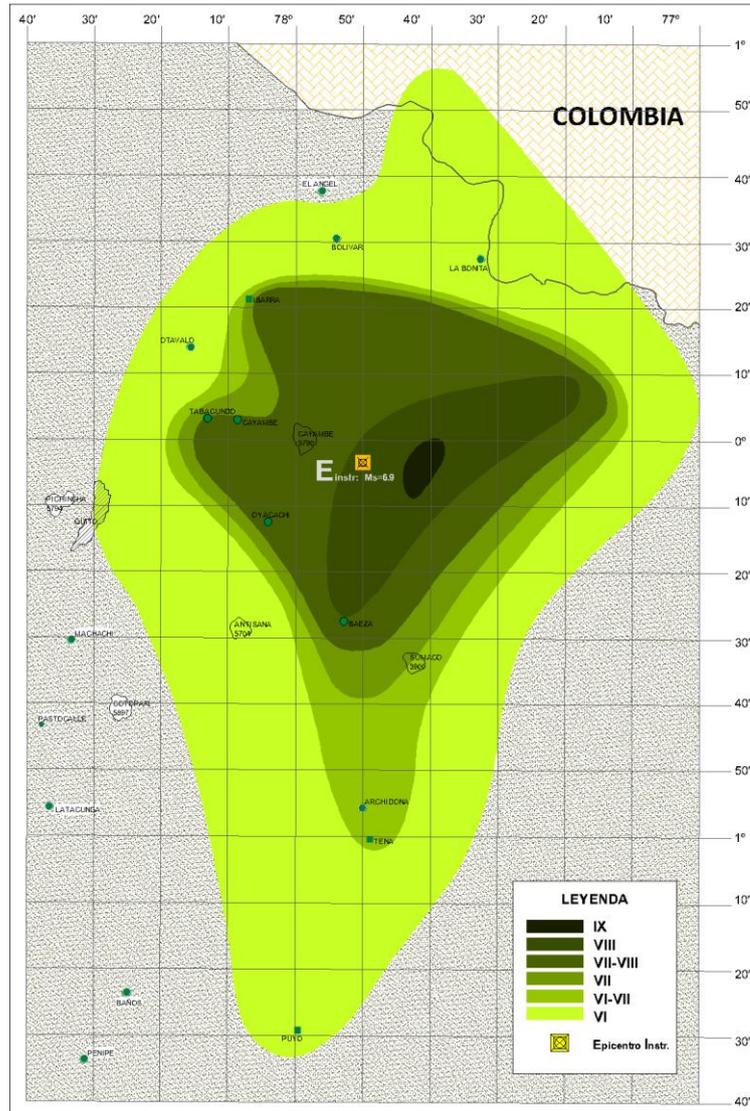


Figura 21 Distribución regional de intensidades

La orientación y elongación de las curvas de isosistas muestran que la energía sísmica irradiada de la fuente sísmica y propagada con las ondas se transmitió con gran facilidad en la dirección noreste – suroeste, que coincide con la prolongación del eje mayor de casi todas las isolíneas y el rumbo de los principales sistemas de falla de la región. En la dirección perpendicular, noroeste – sudeste, la transmisión de la energía sufre mayor atenuación.

El modelo geométrico para la fuente sísmica ha sido elaborado siguiendo la metodología de Shebalín (1971, 1974). Así, en cada isosista se midió: el diámetro mayor  $d_{max}$ ; diámetro menor  $d_{min}$ ; el área  $S_i$ ; el radio de la circunferencia equivalente a la isosista que limita el área señalada; y la extensión horizontal, dada por la diferencia entre los dos diámetros. En la TABLA 1, se presentan los valores medidos, y las relaciones entre las áreas y los radios equivalentes.

Tabla 3 Valores geométricos de las isosistas analizadas

Nº Isosistas	Intensidad	Área (Km <sup>2</sup> )	D <sub>Max</sub> (Km)	D <sub>min</sub> (Km)	Ri (km)	R circ
1	6	25271,6675	277,293	134,114	<b>138,6465</b>	89,6896
2	6,5	10620,917	157,407	108,0608	<b>78,7035</b>	58,1442
3	7	8213,1776	115,7653	102,234	<b>57,8827</b>	51,1306
4	7,5	6608,7602	110,1172	90,4661	<b>55,0586</b>	45,8654
5	8	2027,8353	80,1022	29,5298	<b>40,0511</b>	25,4063
6	9	120,2971	17,6088	8,5044	<b>8,8044</b>	6,1880

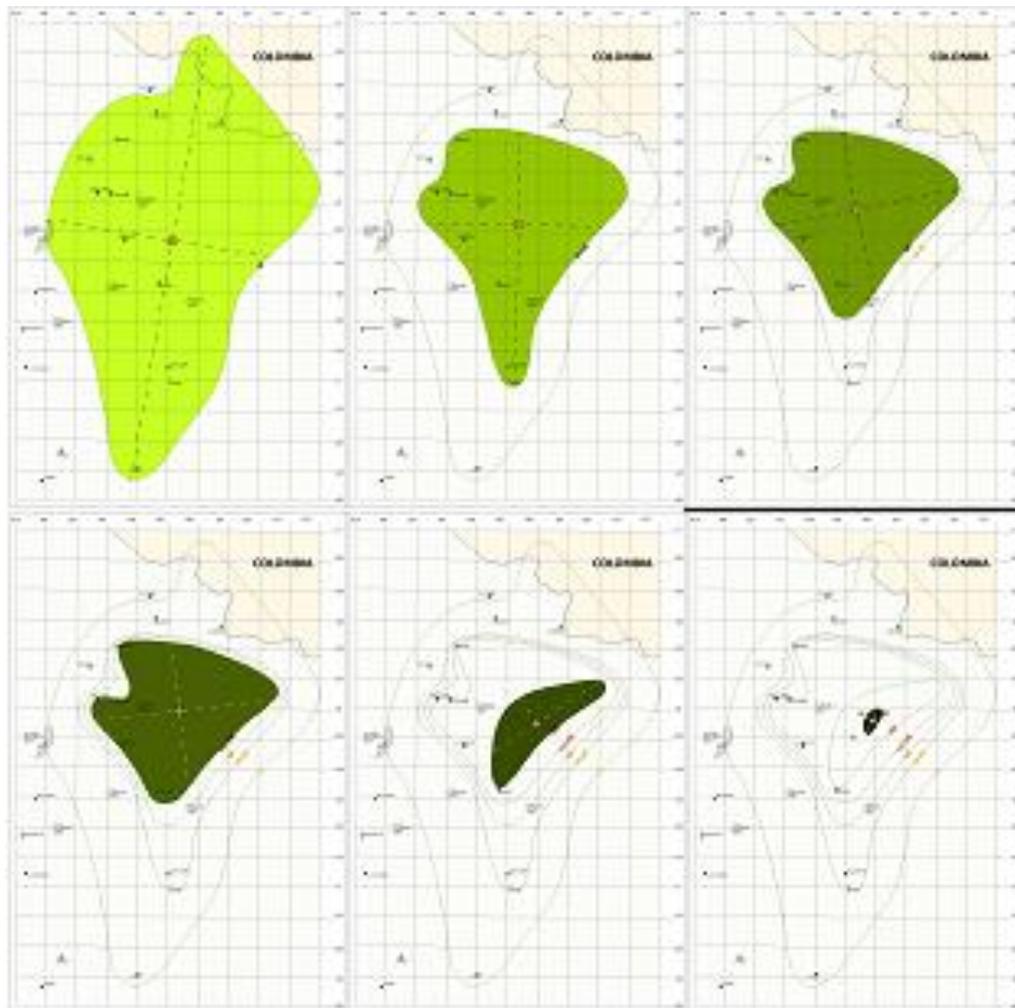


Figura 22 Gráfica de cada isosista analizada

*Las líneas punteadas representan los diámetros de cada isosista. El diámetro máximo se obtiene trazando la mayor extensión exhibida, mientras que el mínimo es una línea perpendicular al punto medio del eje máximo.*

Para **Shebalín** (1974), una vez obtenida esta información, se grafica para cada mapa los baricentros, con el fin de determinar dos concentraciones: una concentración indica el lugar aproximado de ubicación del Epicentro Local (La más cercana a la isosista de mayor intensidad) y la otra indicará la localización del Epicentro Normal.

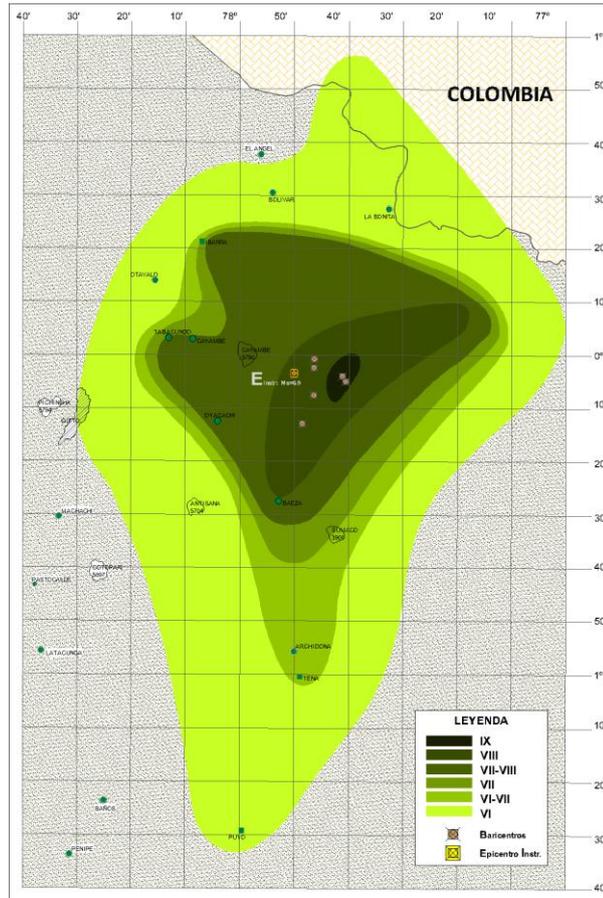


Figura 23 Baricentros

Una vez determinados estos parámetros geométricos, se procede a la determinación de los coeficientes de Blake Shebalín, que definen la atenuación de la intensidad con respecto a la distancia, además de la dispersión y la absorción de las ondas sísmicas.

Tabla 4 Componentes de los coeficientes de Blake- Shebalín

Nº Isosistas	Intensidad	Ri (km)	Pi= Log R (km)	Ti = 1,5M - I	(Pi)² km²	(Pi)* Ti km	
1	6	138,6465	2,142	3,750	4,588	8,032	
2	6,5	78,7035	1,896	3,250	3,595	6,162	
3	7	57,8827	1,763	2,750	3,107	4,847	
4	7,5	55,0586	1,741	2,250	3,030	3,917	
5	8	40,0511	1,603	1,750	2,568	2,805	
6	9	8,8044	0,945	0,750	0,892	0,709	
				<b>10,089</b>	<b>14,500</b>	<b>17,780</b>	<b>26,471</b>

Estos valores serán reemplazados en las ecuaciones (5), (6) y (8) señaladas anteriormente:

$$\Delta = N(\sum Pi^2) - (\sum Pi)^2 \Rightarrow \Delta = 6(17.78) - (10.089)^2$$

$$\Delta = 4.903 \text{ km}^2$$

$$\gamma = \frac{N[\sum (Pi * Ti)] - (\sum Pi)(\sum Ti)}{\Delta} \Rightarrow \gamma = \frac{6 [26.471] - (10.089)(14.5)}{4.903}$$

$$\gamma = 2.558 \text{ km}^{-1}$$

$$C = \frac{(\sum Pi^2)(\sum Ti) - (\sum Pi)(\sum PiTi)}{\Delta} \Rightarrow C = \frac{(17.78)(14.5) - (10.089)(26.471)}{4.903}$$

$$C = -1.8845$$

Para poder definir más adelante, las extensiones horizontal y vertical del foco, es necesario averiguar a partir de cual isosistas se evidencia el efecto local, esto por lo general se observa en el mapa de isosistas.

De acuerdo con **Shebalín**, una forma de reconocer la existencia del efecto local en un terremoto es la aparición de un máximo o un mínimo en los cortes transversal (fig. 12), longitudinal (fig. 13) y en la gráfica de la función **S<sub>i</sub>/S<sub>i+1</sub> = f(i)** (fig. 14).

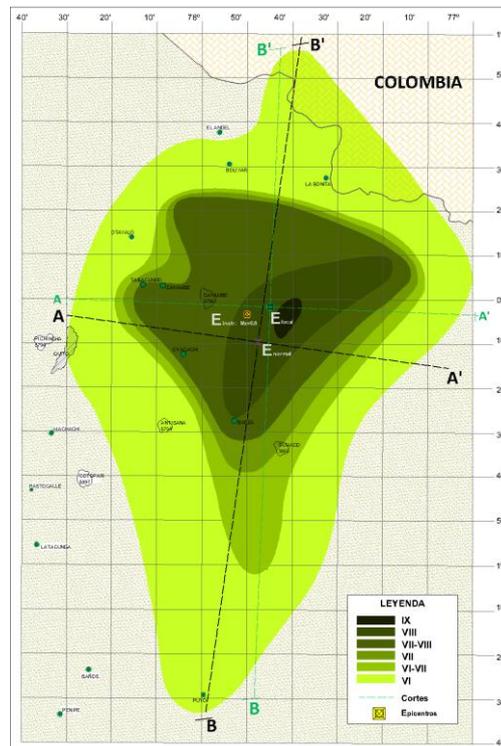


Figura 24 Esquema de Cortes Longitudinal y transversal

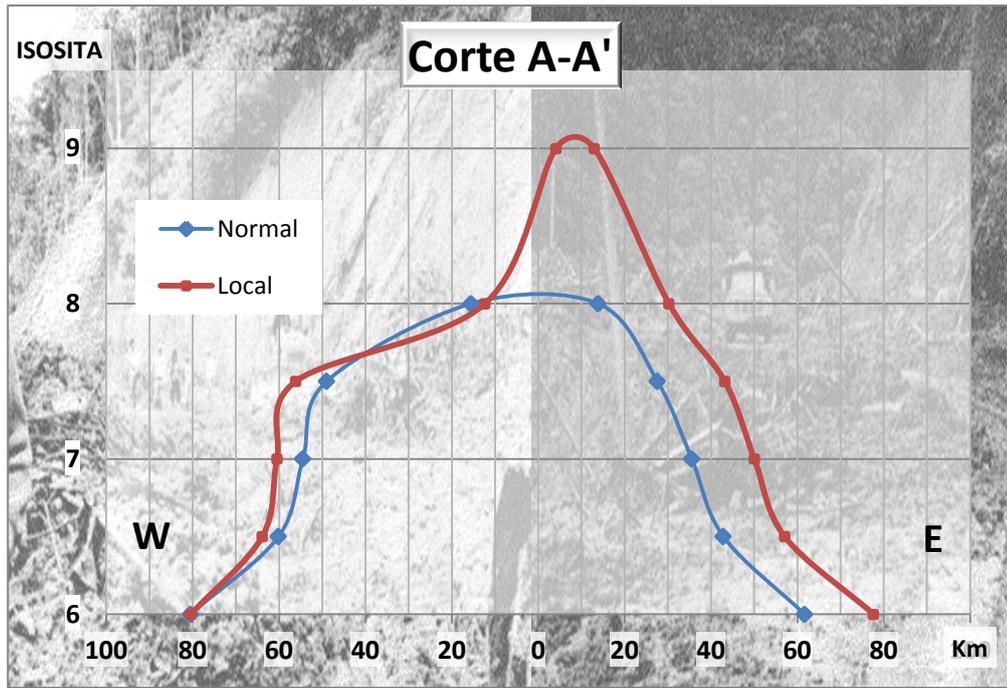


Figura 25 Corte Transversal Normal y Local

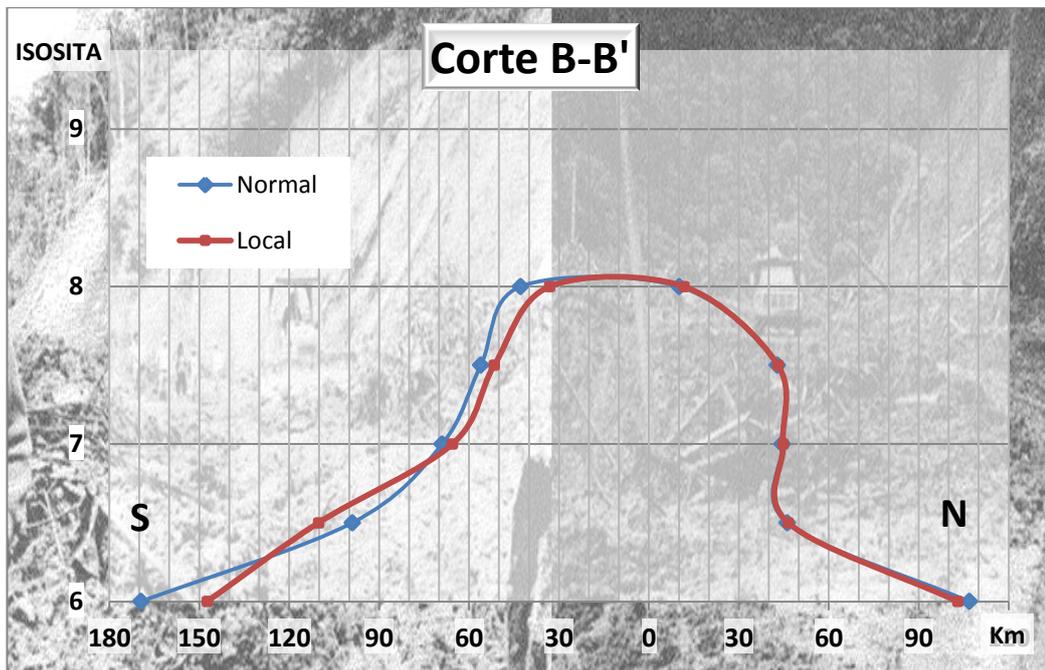


Figura 26 Corte Longitudinal Normal y Local

Y para la relación de áreas, se tienen los siguientes valores:

Tabla 5 Relación  $S_i/S_{i+1}$

Isosistas	Intensidad	Área Km <sup>2</sup>	$S_i/S_{i+1}$
1	6	25271,6675	2,3794
2	6,5	10620,917	1,293
3	7	8213,1776	1,243
4	7,5	6608,7602	3,259
5	8	2027,8353	16,857
6	9	120,2971	0

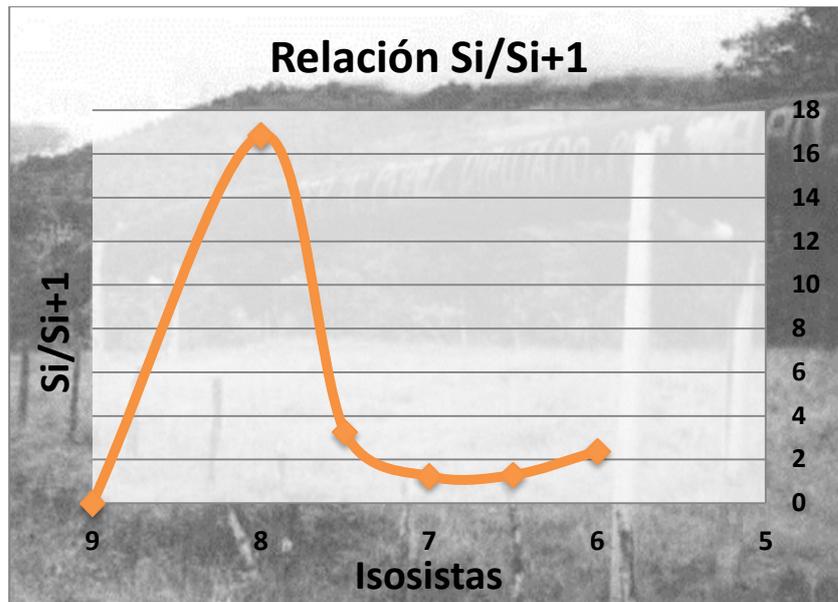


Figura 27 Gráfico de la función Intensidad vs Relación de áreas

Como se aprecia en las cortes, es evidente la presencia del efecto local en el evento sísmico, debido a la presencia de valores máximos y mínimos en la gráfica  $S_i/S_{i+1}$ , por lo que se infiere que las isosistas correspondientes al campo normal son aquellas de intensidad VII, VII-VI, VI, mientras que el efecto local se encuentra restringido a las curvas de intensidad VII-VIII, VIII, IX.

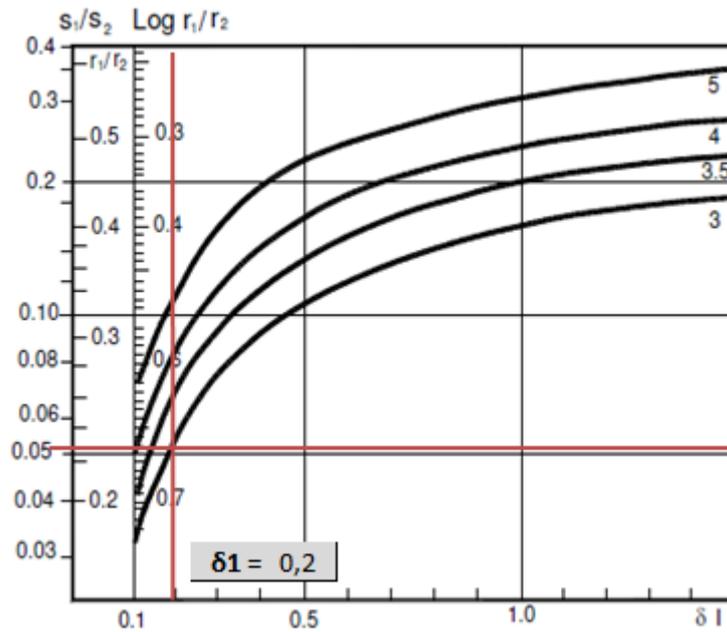
A partir del valor encontrado para  $\gamma$  y las relaciones  $\log R_i/R_{i+1}$  o  $r1/r2$ , Shebalín (1991), donde  $r1$  = radio de isosista IX,  $r2$  = radio isosista VIII, se establece un nomograma que permite definir el tamaño del área mesosísmica que establece el **incremento de la intensidad en el epicentro,  $\delta_1$** , como generador de los efectos en el campo que se le relaciona al desarrollo vertical de la fuente (Fig. 15)

$$r1_{(km)} = 8,8044$$

$$r1/r2 = 0,21983$$

$$r2_{(km)} = 40,0511$$

$$\log (r1/r2) = 0,66$$



**Figura 28** Gráfico para la determinación del incremento de intensidad ( $\delta I$ ) en el epicentro, en función del  $\text{Log } R_1/R_2$  o  $S_1/S_2$  y el coeficiente de atenuación  $\gamma$  (Tomado de Shebalín, 1991).

El valor del incremento de intensidad en el epicentro  $\delta I_1$  y por ende el valor de la intensidad epicentral  $I_{oc}$  y el valor de la intensidad en el epicentro normal  $I_{ocn}$  se establece mediante las relaciones:

$$\begin{aligned} \text{Intensidad Epicentro Local} & & I_{oc} = I_i + \delta_1 & (20) \\ I_{oc} = 9.20 & & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Intensidad Epicentro Normal} & & I_{ocn} = I_{in} + \delta_1 & (21) \\ I_{ocn} = 7.20 & & & \end{aligned}$$

Donde  $I_i$  es la isosista de mayor grado concuerda con la mayor isosista del campo local ( $I_i = 9$ ) e  $I_{in}$  es la isosista de mayor intensidad en el campo macrosísmico normal ( $I_{in} = 7$ ).

Con las consideraciones metodológicas señaladas y los parámetros obtenidos, se puede proseguir con el cálculo del resto de elementos que componen el modelo geométrico de la fuente del sismo de Baeza de Octubre de 1987.

## 5. APLICACIÓN & RESULTADOS

### 5.1. Cálculo de las profundidades focales, local y normal.

En base a la ecuación (2) señalada anteriormente, se establece los valores de la profundidad del foco, en su análisis local y normal, para lo cual se aplicará variaciones de dicha fórmula en la que se tiene:

$$h = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{\sqrt{10^{\frac{2(I_{oc}-I)}{\gamma}} - 1}} \quad (2')$$

Donde: **hl o hn** es la profundidad local (hl) o normal (hn) según sea el caso; **N**, el número de isosistas utilizadas en el campo local o normal; **Ri**, la sumatoria de los Radios de las isosistas que afectan el campo macrosísmico analizado; **loc** o **locn** corresponden a la Intensidad epicentral (normal o local según sea el caso); y finalmente el coeficiente de Blake- Shebalín, **γ**.

**I. Local**

Considerando para este caso para el campo local, la intervención de las isosistas VIII y IX, se tiene:

$$hl = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \frac{48.8555}{\sqrt{10^{\frac{2(I_{oc}-I)}{2.558}} - 1}}$$

**Tabla 6** Valores para la profundidad Local  $h_L$

Nº Isosistas	Intensidad	R (Km)	Intensidad	I <sub>oc</sub> -I
1	VIII	40,0511	8	1,20
2	IX	8,8044	9	0,20
		48,8555		

hl= <b>7,224</b> Km
---------------------

**II. Normal**

Considerando para este caso para el campo local, la intervención de las isosistas VII, VII-VI y VI, se tiene:

$$h_n = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{275.2327}{\sqrt{10^{\frac{2(I_{oc}-I)}{2.558}} - 1}}$$

**Tabla 7** Valores para la profundidad normal  $h_n$

Nº Isosistas	Intensidad	R (Km)	Intensidad	I <sub>oc</sub> -I
1	VI	138,6465	6	1,2
2	VI-VII	78,7035	6,5	0,70
3	VII	57,8827	7	0,20
		275,2327		

hn= <b>14,017</b> Km
----------------------

## 5.2. Cálculo de la extensión horizontal.

La extensión horizontal del foco local y normal, se determina por:

### I. Local

El efecto local de la extensión horizontal del foco está relacionado con el promedio de los diámetros de las dos isosistas mayores, VIII y IX (ecuación 12).

$$l_{xl} = \frac{(d_{9\text{máx}} - d_{9\text{mín}}) + (d_{8\text{máx}} - d_{8\text{mín}})}{2}$$

Tabla 8 Extensión Horizontal Local

Nº	Intensidad	D max (Km)	D min (Km)
1	VIII	80,1022	29,5298
2	IX	17,6088	8,5044

$$L_{xl} = 29,838 \text{ Km}$$

### II. Normal

Como en el caso anterior, la extensión horizontal del foco está relacionada con el promedio de los diámetros de las dos isosistas mayores que representan el efecto normal (VII y IV).

$$l_x = \frac{(d_{7\text{máx}} - d_{7\text{mín}}) + (d_{6.5\text{máx}} - d_{6.5\text{mín}})}{2}$$

Tabla 9 Extensión Horizontal Normal

Nº	Intensidad	D max (Km)	D min (Km)
1	VII	115,7653	102,234
2	VII-VI	157,407	108,0608

$$L_{xn} = 31,439 \text{ Km}$$

## 5.3. Extensión Vertical

La extensión vertical del foco se calcula usando la ecuación (19):

$$z = 1,5 (hn - hl)$$

$$z = 1,5 (14,017 - 7,224)$$

$$z = 10,189 \text{ Km}$$

#### 5.4. Coeficiente de atenuación azimutal $\alpha_z$

$$\alpha_z = \frac{\gamma \Delta}{2.303D^2 I} \quad (22)$$

Donde:  $\Delta$  representa la distancia media al epicentro (radio medio de la  $i$ -ésima isosista);  $\gamma$ , el coeficiente obtenido de atenuación macrosísmica;  $I$ , la Intensidad epicentral  $I_0$ ; y  $D$ , denominada **distancia hipocentral**, considerando para su cálculo, la ecuación (4):

$$D = \sqrt{hn^2 + \Delta^2}$$

$$D = \sqrt{14,017^2 + 138,6465^2}$$

$$D = 139,353 \text{ Km}$$

Reemplazando finalmente todos los valores se tiene:

$$\alpha_z = \frac{2,558 * 138.6465}{2.303(139.353^2) * 9.2}$$

$\alpha_z =$	$0,0008620$	$\text{Km}^{-1}$
--------------	-------------	------------------

#### 5.5. Magnitud macrosísmica

La magnitud es una medida instrumental que indica implícitamente la energía liberada durante la ruptura y permite comparar un sismo con otro. Esta también se puede obtener a partir de datos macrosísmicos, utilizando la fórmula de Karnik (1969):

$$M = 0.5I_0 + \log h_n + 0.35 \quad (23)$$

Donde:  $M$ , Magnitud Macrosísmica;  $I_0$ , Intensidad en el epicentro (valor de la máxima isosista);  $h_n$ , Profundidad Macrosísmica Normal

Reemplazando valores se tiene:

$M =$	$6,00$	$\text{magnitud local (Ritcher)}$
-------	--------	-----------------------------------

#### 5.6. Ecuación del campo macrosísmico general

Al analizar la ecuación (17), cuando  $D > 3h$  y existe un amplio límite de variación de  $g$ , la cantidad  $h^2$  bajo la raíz puede despreciarse y la fórmula toma la forma:

$$I_{in} = bM - \gamma \log \Delta i^2 + C \quad (24)$$

Al reemplazar los valores obtenidos, la ecuación general del campo macrosísmico queda definida como:

$$1,5M - I_i = 2,558 \log \Delta i - 1,8845$$

### 5.7. Distancia entre epicentros

La distancia horizontal de los epicentros local y normal se estima a partir de sus coordenadas, dada como:

$$E_{o \text{ local}} : \varphi = 0.0286^\circ N ; \lambda = 77.7485^\circ W$$

$$E_{o \text{ normal}} : \varphi = 0.1610^\circ N ; \lambda = 77.7986^\circ W$$

Aplicando la fórmula se tiene:

$$d = \sqrt{(Lat_{local} - Lat_{normal})^2 + (Long_{local} - Long_{normal})^2} \quad (25)$$

$$d = 0,1415^\circ$$

Finalmente, sabiendo que:  $1^\circ = 111,11 \text{ Km}$

$$d = 0,1415 \times 111,11$$

$$d = 15,7264 \text{ Km}$$

### 5.8. Vector resultante de la dirección de desplazamiento. (LR).

Distancia que relaciona la distancia entre los epicentros  $d$  con la diferencia entre las profundidades  $h_l$  y  $h_n$ .

$$LR = \sqrt{d^2 + (h_n - h_l)^2}$$

$$LR = \sqrt{15,7264^2 + (14,017 - 7,224)^2}$$

$$LR = 17,13 \text{ Km}$$

### 5.9. Angulo $\beta$ .

Es el ángulo que forma la horizontal con la longitud resultante LR, este es el ángulo de inclinación de la dirección de deslizamiento.

$$\beta = \arctan \frac{(h_n - h_l)}{d}$$

$$\beta = \arctan \frac{(14,017 - 7,224)}{15,7264}$$

$$\text{Angulo } \beta = 23.36^\circ$$

El modelo geométrico de la ruptura en el foco sísmico, obtenido a partir de los datos macrosísmicos procesados en este estudio es presentado en las figuras 16 y 17.

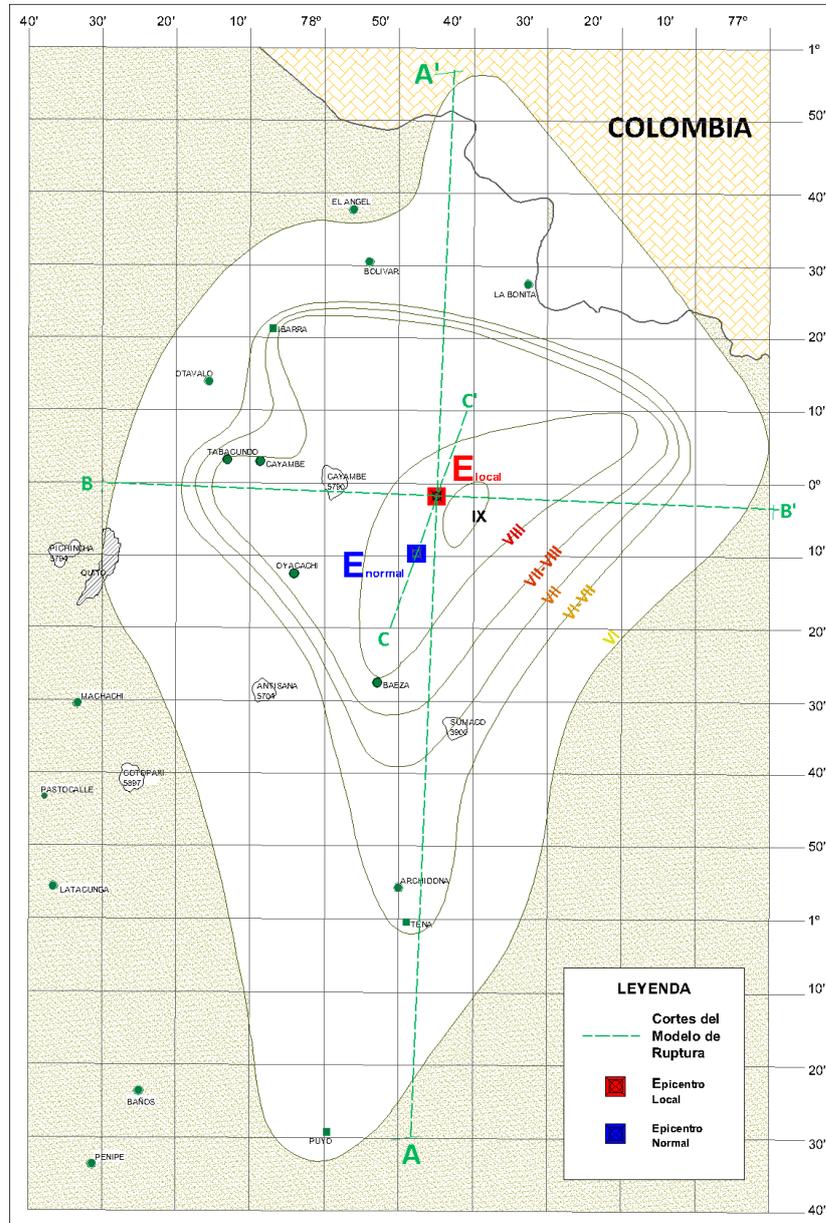


Figura 29 Modelo de Ruptura

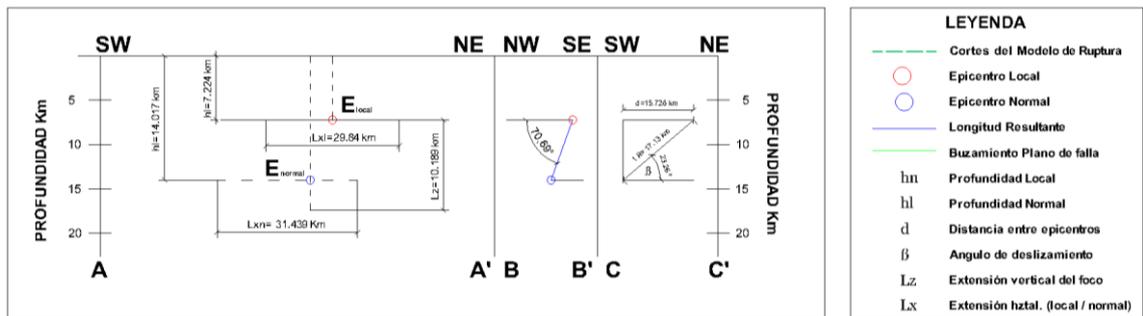


Figura 30 Modelo geométrico de la ruptura del foco

## 6. CONCLUSIONES

El análisis de los datos macrosísmicos permite indagar, con mayor precisión, las tendencias de falla, intensidades, profundidad del foco, entre otros datos que ayudan a determinar la incidencia e importancia de un sismo sobre las estructuras aledañas a la zona y ampliar el entendimiento de su comportamiento.

A diferencia de los datos instrumentales, las soluciones macrosísmicas permiten establecer un modelo de ruptura, en el cual es posible apreciar las extensiones horizontal y vertical del foco, lo que de hecho supone la existencia de por lo menos dos focos de gran liberación de energía, considerados como los lugares donde inicia y termina la ruptura (focos normal y local respectivamente). Este proceso es lo que ocasiona la divergencia con los datos instrumentales, ya que las redes sísmicas asocian la información del primer impulso que sale de la fuente sísmica, dando un valor único para este parámetro.

Por estas razones, el análisis macrosísmico de los principales sismos que afectan a nuestro país, constituye un gran avance para el conocimiento de la sismicidad y la solución del problema de la amenaza y el riesgo sísmico, al permitir identificar adecuadamente detalles como la profundidad de su foco, intensidades y el modelo geométrico de su falla.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Biblioteca Virtual de Salud y Desastres. (Abril de 1987). *Preparación para casos de desastres en las Américas*. Recuperado el Febrero de 2013, de Boletín N 40: <http://helid.digicollection.org/fr/d/Jphp30s/5.html>
2. Dirección Nacional de Defensa Civil. (1988). *Terremoto del 5 de Marzo de 1987*. Quito: Ediciones Culturales U.N.P S.A.
3. Escuela Politécnica Nacional, E. (abril 2000). *Los terremotos del Ecuador del 5 de marzo de 1987. Deslizamientos y sus efectos sociales*. Quito: Corporación Editora Nacional.
4. Espinosa, A. F., Hall, M., & Yepes, H. (2006). *Tectonismo y Sismicidad*.
5. Instituto Geofísico EPN. (5 de Marzo de 2012). *Servicio Nacional de Sismología y Vulcanología*. Recuperado el Febrero de 2013, de Los terremotos del Nor Oriente del Ecuador del 5 de marzo de 1987: <http://www.igepon.edu.ec/index.php/recursos/noticias/item/601-los-terremotos-del-nor-orientado-del-ecuador-del-5-de-marzo-de-1987.html>
6. Instituto Geofísico EPN; José Egred. (1999). *Catálogo de Terremotos del Ecuador*. Quito.
7. ONU. (1988). *Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe*.

# EFECTO DE LA INOCULACIÓN COMBINADA DE HONGOS MICORRÍDICOS ARBUSCULARES Y *PSEUDOMONAS PUTIDA* EN PLANTAS DE TOMATE DE ÁRBOL (*SOLANUM BETACEUM*) INFECTADAS CON *MELOIDOGYNE SPP.*"

Ramírez Ibeth Fernanda<sup>1</sup>, Ulloa Santiago Miguel<sup>2</sup>, Medina María Emilia<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Microbiología del Suelo  
Centro de Investigaciones Científicas  
Escuela Politécnica del Ejército  
Sangolquí, Ecuador.

<sup>2</sup>Carrera de Ingeniería Agropecuaria  
Escuela Politécnica del Ejército  
Santo Domingo, Ecuador.

## RESUMEN

A pesar de haberse incrementado el área del cultivo de tomate de árbol en Ecuador, este cultivo no ha aumentado su producción debido, principalmente, al ataque del nemátodo *Meloidogyne spp.* que causa pérdidas de hasta un 70% y reduce la vida útil de la planta. La gravedad del problema y las dificultades que implican el manejo de químicos para su control, promueve la implementación de métodos de control biológico como la aplicación de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) y rizobacterias promotoras de crecimiento (PGPR). Estas técnicas, permiten (prácticas agrícolas respetuosas) con el ambiente. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la inoculación combinada de HMA y dos cepas de *P. putida*, en el daño y la infección causadas por nemátodos en plantas de tomate de árbol. Para obtener el inóculo micorrícico se aislaron y propagaron esporas nativas. La selección de las cepas bacterianas utilizadas en este estudio se realizó de acuerdo a su capacidad de solubilización de fosfatos, producción de ácido indol acético (AIA) y ácido cianhídrico (HCN). Las plantas fueron inoculadas con 2500 esporas de HMA al momento del trasplante, después de 15 días se adicionó 20 ml del inóculo bacteriano ( $1.5 \times 10^8$  UFC/ml) y a los 35 días se aplicaron los nemátodos (2000/planta). La evaluación final se realizó 60 días después de la inoculación con nemátodos. En términos de desarrollo los beneficios de la aplicación de ambos microorganismos benéficos, se evidencian en el aumento de la biomasa radical, longitud radical, perímetro del tallo y área foliar, alcanzando el mayor desarrollo con la aplicación combinada, en ausencia del patógeno. Este efecto positivo fue también observado en los tratamientos con nemátodos, donde el mejor desarrollo de biomasa aérea, altura y longitud radical se alcanza con la interacción HMA- *P. putida*. La aplicación de HMA y la cepa P1 causó la mayor reducción del agallamiento y de reproducción del nemátodo en comparación a la aplicación individual de los microorganismos benéficos y el control. Nuestros estudios sugieren que existe un sinergismo entre HMA y ambas cepas de *P. putida*, que favorece el desarrollo de las plantas de tomate de árbol y reduce la infección causada por el nemátodo agallador de raíz.

## ABSTRACT

Despite having increased the area of the tree tomato cultivation in Ecuador, this crop has increased production due to the attack of the nematode *Meloidogyne spp.* causing losses of up to 70% and reduces the lifetime of the plant. The severity of the problem and the difficulties involved in handling chemicals for control, promotes the implementation of biological control methods and the application of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and growth promoting rhizobacteria (PGPR). These techniques allow the environment-friendly agriculture. The objective of this study was to determine the combined effect of AMF inoculation and two strains of *P. putida* in damage and nematode infection in tomato tree. For mycorrhizal inoculum spores

were isolated and propagated native. The selection of the bacterial strains used in this study was performed according to their ability of solubilizing phosphates, producing indole acetic acid (IAA) and hydrocyanic acid (HCN). Plants were inoculated with 2500 spores at transplanting HMA after 15 days was added 20 ml of the bacterial inoculum ( $1.5 \times 10^8$  CFU/ml) and applied 35 days nematodes (2000/planta). The final evaluation was done 60 days after inoculation with nematodes. In terms of development gains from the application of both beneficial microorganisms are evident in the increased root biomass, root length, stem perimeter and leaf area, reaching the largest combined with application development, in the absence of the pathogen. This positive effect was also observed in the treatments with nematodes, where the best development of biomass, height and root length is achieved through the interaction HMA-P. putida. The application of HMA and P1 strain caused the greatest reduction in galling and nematode reproduction compared to the individual application of beneficial microorganisms and control. Our studies suggest that there is synergism between HMA and both strains of P. putida that favors the development of tree tomato plants and reduces infection by root-knot nematode.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el Ecuador el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) es comercializado en el mercado local por pequeños agricultores sirviendo de sustento económico para varias familias. Este cultivo es afectado por el nemátodo agallador de raíz (*Meloidogyne* spp.) que causa pérdidas de hasta un 70 % y reduce hasta dos años la vida útil de la planta (INIAP 2008). Los nemátodos causan grandes pérdidas debido a que se alimentan del citoplasma, provocando hipertrofia de los tejidos, formando agallas que limitan el desarrollo de la planta, la debilitan, deshidratan y la vuelven más susceptible a patógenos como *Fusarium* spp. y *Phytophthora infestans* (Abad et al., 2003).

Debido a la ausencia de alternativas tecnológicas amigables con el medio ambiente y la salud, el 95% de los agricultores utilizan productos prohibidos en otros países para el control químico del nemátodo (Soria, 1995). El beneficio de los nematicidas químicos es temporal, pero los efectos adversos son mayores porque afectan a la salud y se bio-acumulan en la cadena trófica. Además, su uso ocasiona desbalances ecológicos eliminando microorganismos benéficos antagonistas a los nemátodos que afectan la mineralización de nutrientes (Barea et al., 1998).

El uso incorrecto de nematicidas disminuye las posibilidades de exportación, ya que las exigencias internacionales demandan un manejo sostenible (FAO, 1991). Con la aplicación de técnicas biotecnológicas es factible reemplazar productos químicos por biológicos, a través del uso de microorganismos de la rizósfera como HMA y rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (PGPR).

Ciertos microorganismos ampliamente distribuidos como hongos de la clase Zygomycetos, tienen la capacidad de asociarse simbióticamente a las raíces de plantas vasculares dando origen a la asociación micorrícica arbuscular (Smith & Read, 1997). Esta asociación mejora la productividad de los cultivos porque capta nutrientes poco disponibles en el suelo como el fósforo, aumenta la tolerancia al ataque de patógenos y condiciones de estrés biótico y abiótico. Además, mejora y restaura la fertilidad del suelo al explorar un volumen mayor, porque sus hifas aumentan el área de superficie de absorción (Azcón & Barea, 1996).

Las PGPR son microorganismos que se encuentran o no asociados a diversos tejidos vegetales. Tienen la capacidad de adaptarse, colonizar y permanecer en la rizósfera de la planta proporcionando beneficios para su crecimiento, incrementando la solubilidad de elementos minerales, fijando nitrógeno atmosférico, reduciendo patógenos de las raíces (por antagonismo o competencia) y produciendo sustancias reguladoras del crecimiento vegetal (giberelinas, auxinas y citoquininas). Son consideradas PGPR los géneros *Arthrobacter* sp., *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp., *Enterobacter* sp., *Serratia* sp., *Pseudomonas* sp., y *Azospirillum* sp. (Tenuta, 2004).

A pesar de que no hay investigaciones sobre la aplicación de HMA y *P. putida* en plantas de tomate de árbol, existen varios trabajos en otros cultivos de interés agrícola (tomate, banano, papaya, garbanzo) donde se ha reportado el efecto del sinergismo benéfico al co-inocular HMA y PGPR (Jaizme, Rodríguez & Barroso, 2006; Rodríguez, Badosa, Montesinos & Jaizme, 2007; Siddiqui & Mahmood 1998, 2001).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la inoculación combinada de hongos micorrícicos arbusculares y rizobacterias promotoras de crecimiento (*Pseudomonas putida*) en plantas de tomate de árbol infectadas con el nemátodo agallador de raíces *Meloidogyne* spp.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Obtención del inóculo micorrícico**

Para la obtención del inóculo de HMA se seleccionaron 20 esporas a partir de cultivos de tomate de árbol de la parroquia de Huambaló, que se sembraron en cajas petri con arena estéril y plantas de avena (*Avena sativa*) durante un mes. Posteriormente, las esporas se propagaron en plantas de pasto (*Lolium perenne*) en un sustrato con tierra negra, turba y cascarilla de arroz. Los cultivos se mantuvieron durante cinco meses y finalmente se obtuvo un inóculo de 12 esporas/gr.

### **2.2 Selección del inóculo bacteriano**

Las dos cepas de *P. putida* utilizadas como inóculo se seleccionaron a partir de siete aislados (proporcionados por el Laboratorio de Microbiología del suelo CEINCI, ESPE) en base a su capacidad para producir metabolitos relacionadas con el crecimiento vegetal y su antagonismo contra patógenos. La cepa P1 solubilizó fosfatos y produjo ácido cianhídrico (HCN) y la cepa P2 produjo ácido indol acético (AIA).

El inóculo de ambas cepas de *P. putida* se desarrolló a partir de cultivos axénicos en agar nutritivo y consistió en una suspensión bacteriana sobre solución salina estéril (NaCl 0.85%) que se ajustó a una concentración de  $1.5 \times 10^8$  UFC/ml. El inóculo bacteriano se aplicó 15 días después de la inoculación con HMA. Los tratamientos que no contenían bacterias fueron regados con 20 ml de solución salina estéril 0.85 %.

### **2.3 Preparación del inóculo de nemátodos**

El inóculo de nemátodos, se obtuvo a partir de muestras de raíces de tomate de árbol (que presentaron agallamiento) provenientes del Cantón Pimampiro. La extracción de nemátodos se realizó según la técnica propuesta por Sttemirding (1964) citado por Zuckerman, *et al.* (1985) y se propagó en plantas de tomate riñón (*Lycopersicum esculentum*) variedad *Sheila Victory*. El inóculo de nemátodos se ajustó hasta obtener 20 ml de una suspensión de 2000 nematodos/planta y se aplicó 20 días después del inóculo bacteriano. A los tratamientos que no tenían nemátodos, se les aplicó 20 ml de agua destilada.

### **2.4 Diseño experimental e inoculación**

Se estableció un ensayo con 12 tratamientos generados a través de un diseño completamente al azar y un arreglo factorial 2x3x2 a partir de la interacción de tres factores: dosis de micorrizas (0, y 210 g), concentración de *P. putida* (0, cepa P1, cepa P2) y

*Meloidogyne* spp. (0 y 2000 nematodos). Se realizaron 12 repeticiones por tratamiento (unidad experimental: 1 planta. Total 144 plantas).

La inoculación de HMA se llevó a cabo en el transplante de las plantas de tomate de árbol a maceta. Después de 15 días, se realizó la aplicación bacteriana (20 ml/planta) y luego de 35 días, se aplicaron 2000 nematodos/planta.

## **2.5 Evaluación de las variables**

Tras un periodo de 95 días a partir del inicio del ensayo se realizó la evaluación final de las variables de desarrollo. Se determinó la población final de esporas de HMA con la técnica de Genderman y Nicholson, 1963 (citada y modificada por Herrera *et al.*, 2004) el porcentaje de colonización micorrícica según Philips y Hayman, 1970 y la población final de bacterias en raíces de tomate de árbol, mediante diluciones seriadas en agar nutriente.

El análisis de los resultados de las variables mencionadas se realizó mediante el Software Estadístico InfoStat utilizando ADEVA con una prueba de comparación de medias DGC al 5%.

## **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 Desarrollo de las plantas de tomate de árbol**

A pesar de que no hay investigaciones sobre la aplicación de HMA y *P. putida* en plantas de tomate de árbol, existen varios trabajos en otros cultivos de interés agrícola (tomate, banano, papaya y garbanzo) donde se ha reportado el efecto del sinergismo benéfico al co-inocular HMA y PGPR (Jaizme, *et al.*, 2006; Rodríguez-Romero *et al.*, 2007; Siddiqui y Mahmood 1998, 2001). Los autores sugieren que el uso combinado de los agentes de biocontrol, pueden disminuir el daño producido por el patógeno, pues sus mecanismos de acción combinados les confieren un efecto antagónico, aditivo o sinérgico. Además, la interacción de micorrizas y rizobacterias es inevitable durante el proceso de colonización, ya que comparten microhábitats (Barea *et al.*, 1997) y la inoculación temprana de los microorganismos benéficos, puede garantizar la protección de la planta previniendo la penetración y reproducción del nematodo, especialmente en las primeras etapas del cultivo (Siddiqui y Mahmood 2001). Estas situaciones serán consideradas para explicar los posibles efectos simbióticos de los microorganismos benéficos sobre el desarrollo vegetal y la infección ocasionada por los nematodos en plantas de tomate de árbol.

El análisis de nuestros resultados en los tratamientos sin nemátodos, muestra de forma general que el mayor desarrollo de la biomasa radical, longitud radical, perímetro del tallo y área foliar fue registrado con la combinación HMA-PGPR, permitiendo alcanzar los mayores valores en las variables mencionadas (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con lo descrito por Siddiqui y Mahmood (2001), al aplicar PGPR (*P. fluorescens*, *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum brasilense*) y *G. mosseae* en plantas de garbanzo, encontraron que el uso combinado de *P. fluorescens* y *G. mosseae* fue mejor en cuanto al desarrollo, que cualquier otra combinación o la aplicación individual de los microorganismos. En otros estudios Siddiqui *et al.* (2009) al inocular plantas de tomate riñón (*Solanum lycopersicum*) con PGPR (*Burkholderia cepacia*, *Bacillus subtilis*) y HMA (*Glomus intraradices*, *Gigaspora margarita*) reportaron un mayor desarrollo de las plantas co-inoculadas con ambos microorganismos respecto a los tratamientos de inoculación simple y al grupo control. Nuestros resultados sugieren que hay un mayor efecto sinérgico de las cepas bacterianas (productoras de AIA, HCN y solubilizadoras de fosfato) y HMA en cuanto al desarrollo de plantas de tomate de árbol en ausencia del patógeno (Tabla 1).

Al analizar la evaluación de los parámetros de desarrollo de los tratamientos con *Meloidogyne* spp. en nuestro ensayo se observa que la aplicación de HMA y *P. putida* influye positivamente sobre el desarrollo de las plantas en biomasa aérea, altura y longitud radical (Tabla 1). Nuestros resultados son similares a los descritos por Jaizme *et al* (2006) quien inoculó dos especies de HMA (*Glomus mosseae*, *Glomus manihotis*) y un consorcio de *Bacillus* en plantas de papaya (infectadas con *Meloidogyne incognita*) y observaron que las plantas tratadas con ambos microorganismos incrementan los beneficios en comparación a la aplicación simple. En estos estudios se registraron mejoras significativas en variables como peso aéreo, largo de raíz y altura. De igual forma Siddiqui y Mahmood (2001) concluyeron que el uso combinado de *P. fluorescens* con *G. mosseae* fue mejor que la aplicación individual, resultando en una mayor altura y biomasa aérea en plantas de arveja infectadas con *Meloidogyne javanica*.

**Tabla 1** Efecto de la interacción simple y combinada de HMA y *Pseudomonas putida* sobre el desarrollo de plantas de tomate de árbol

Tratamiento	B. radical (g)	B. Aérea (g)	L. radical (cm)	Altura (cm)	Perímetro (cm)	A.Foliar (cm <sup>2</sup> )
H0P0M0	7.19 a	8.57 b	28.01 b	21.89 a	1.95 b	47.67 b
H0P1M0	13.15 b	10.62 b	30.33 b	22.15 a	1.97 b	57.42 b
H0P2M0	13.38 b	10.98 b	32.67 c	22.40 a	2.03 b	62.75 b
H1P0M0	14.43 b	11.11 b	33.09 c	23.22 a	2.09 a	67.42 b
H1P1M0	15.98 c	11.83 b	33.67 c	24.31 a	2.17 a	68.67 b
H1P2M0	16.88 c	12.44 b	38.42 d	24.40 a	2.20 a	81.25 a
H0P0Mi	4.97 a	6.62 a	24.00 a	17.80 b	1.68 c	45.08 b
H0P1Mi	5.28 a	9.80 b	26.50 b	20.98 a	1.83 c	53.64 b
H0P2Mi	5.44 a	9.91 b	24.08 a	20.74 a	1.81 c	53.64 b
H1P0Mi	5.25 a	9.84 b	24.37 a	20.68 a	1.82 c	49.33 b
H1P1Mi	5.93 a	11.29 b	29.86 b	21.86 a	1.85 c	59.50 b
H1P2Mi	5.88 a	11.81 b	29.17 b	21.68 a	1.84 c	56.08 b

**H0:** Sin HMA, **H1:** Con HMA, **P0:** Sin *P. putida*, **P1:** Cepa 1 de *P. putida*, **P2:** Cepa 2 de *P. putida*, **M0:** Sin nematodos, **Mi:** Con nematodos.

Medias de doce repeticiones. Dentro de la misma columna letras distintas indican diferencias significativas según el test DGC ( $p \leq 0.05$ )

### 3.1.1 Biomasa aérea

En la Figura 1 se observa que en los tratamientos con *Meloidogyne* spp. existen diferencias estadísticas significativas cuando se aplicaron micorrizas y bacterias de forma dual o simple, respecto al tratamiento simple con nematodos. Es decir, que la aplicación de los microorganismos benéficos, tanto de forma individual o combinada, aumentan la biomasa aérea en todos los tratamientos.

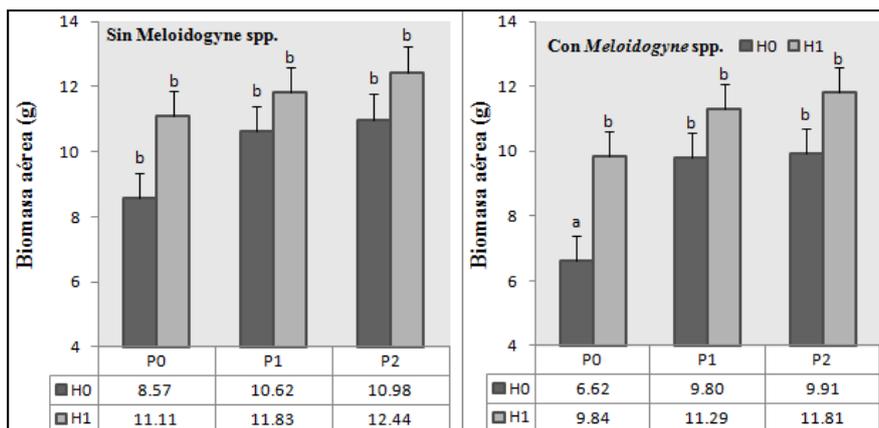


Figura 1 Efecto de la interacción entre HMA y *P. putida* en la biomasa aérea de plantas de tomate de árbol infectadas con *Meloidogyne* spp.

### 3.1.2 Biomasa radical

En la Figura 2, se observa que en los tratamientos sin *Meloidogyne* spp. la prueba DGC generó tres subconjuntos, donde la aplicación combinada de HMA y bacterias causa el mayor desarrollo de la biomasa radical, seguido por la aplicación individual de los microorganismos benéficos, mientras que el menor desarrollo se da en las plantas control. La interacción entre HMA y la cepa P2 duplica esta variable (16.88 g) en comparación al control (7.19 g).

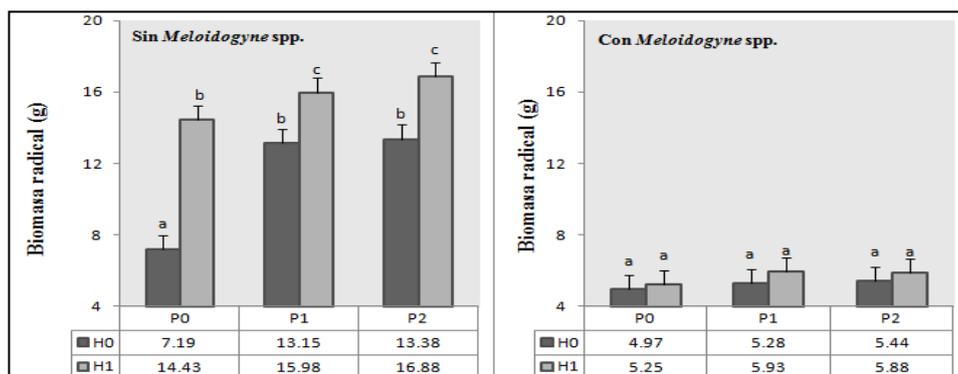
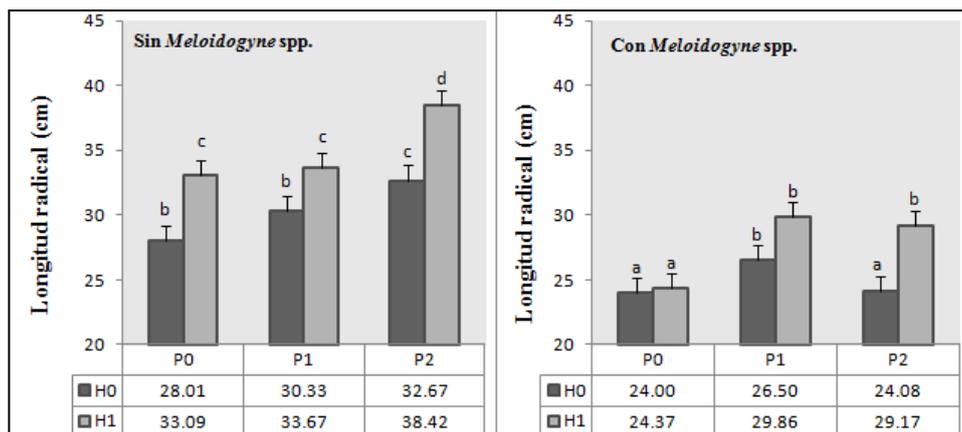


Figura 2 Efecto de la interacción entre HMA y *P. putida* en la biomasa radical de plantas de tomate de árbol infectadas con *Meloidogyne* spp

### 3.1.3 Longitud radical

En los tratamientos con *Meloidogyne* spp. la inoculación dual de micorrizas - bacterias y la aplicación individual de la cepa P1, presentaron diferencias estadísticas significativas en relación al resto de tratamientos, alcanzando el mayor desarrollo de la longitud radical cuando se aplicó HMA y la cepa bacteriana P1 en comparación al tratamiento con nemátodos (Figura 3).



**Figura 3** Efecto de la interacción entre HMA y *P. putida* en la longitud radical de plantas de tomate de árbol infectadas con *Meloidogyne* spp.

Cuando no se aplicó *Meloidogyne* spp., la co-inoculación de micorrizas y la cepa P2 produjo el mayor desarrollo de la longitud radical, seguido de los demás tratamientos con microorganismos benéficos. Cabe señalar que el menor desarrollo de la longitud radical corresponde a los tratamientos control (Figura 3).

Los resultados alcanzados en la presente investigación podrían deberse a:

- A. La producción de AIA, que produce la cepa P2, posiblemente debido a que podría aumentar las síntesis de este compuesto por efectos sinérgicos con otros microorganismos. De este modo, el AIA disponible en la planta, desencadenaría efectos hormonales, promoviendo la síntesis de proteínas, la división y el alargamiento celular, produciendo el crecimiento de diferentes órganos de la planta (Tenuta, 2004).
- B. La solubilización de fosfatos que produce la cepa P1 utilizada en este estudio, presenta capacidad de producir fosfatasa o ácidos orgánicos (ácido fórmico, propiónico, glicólico, láctico, fumárico y succínico) solubilizando formas orgánicas e inorgánicas no disponibles en la solución del suelo (Hernández *et al.*, 2006). Barea *et al* (1998) reportaron que ciertas cepas de *P. fluorescens* y *putida* al solubilizar elementos poco móviles del suelo como el fósforo, mejoran el ingreso de este hacia la planta y promueven su desarrollo, lo que resulta en una mayor producción de biomasa, lo cual concuerda con nuestros resultados, donde el desarrollo de la biomasa aérea y radical, se ve favorecido con la aplicación de *P. putida*, tanto de manera individual como en combinación con HMA (Tabla 1).

### 3.2 Reproducción del nematodo

La reproducción de *Meloidogyne* spp. fue menor en todas las plantas inoculadas con agentes biológicos patógenos en comparación a las plantas tratadas únicamente con nematodos, con diferencias altamente significativas en presencia de HMA-P1 en comparación al resto de tratamientos (Tabla 2).

La aplicación conjunta HMA-P1 causa la mayor reducción de nematodos (40 %), seguido por la interacción HMA-P2. En las inoculaciones individuales, la cepa P1 produjo mayor reducción (23 %) seguido de la cepa P2 y finalmente micorrizas, en relación a las plantas tratadas con nematodos

En la co-inoculación se produjo el menor agallamiento (disminuyó 2 veces, 1.83) con HMA-P1 seguido por la interacción HMA-P2.

Los resultados obtenidos en el presente estudio pueden deberse a:

- A. La producción de metabolitos secundarios como el HCN sintetizado por la cepa P1 utilizada en el presente estudio, sin descartar la posibilidad de que se produzcan otros metabolitos como antibióticos o sideróforos. La cepa P1 que produjo HCN, es antagonista de varios fitopatógenos como nemátodos (Schippers *et al.*, 1990; Jayaprakashvel *et al.*, 2010) provocando un estrés en las plantas, que modifica su metabolismo para generar mecanismos de resistencia sistémica que la ayudan a tolerar el ataque de fitopatógenos del suelo. El proceso que provocan estas bacterias en las plantas, involucra la inhibición de la oxidación del citocromo en el proceso de respiración, retrasando la oxidación de electrones NADH en la mitocondria y reduciendo los niveles de respiración (Schippers *et al.*, 1990; Kloepper *et al.*, 1997).
- B. La inducción de resistencia sistémica por ciertas cepas de PGPR (*Pseudomonas putida* y *fluorescens*) puede proteger a la planta potenciando sus defensas innatas contra el ataque biótico, que es efectivo contra una gran variedad de patógenos (Bowen y Rovira, 1999). Las bacterias de este género son capaces de inducir resistencia por parte de la planta, incrementando la velocidad de la síntesis y los niveles de fitoalexinas, implicados en la defensa de la planta. La señal responsable de la inducción de resistencia y del aumento en la acumulación de fitoalexinas está inducida por los lipopolisacáridos de la bacteria (Choudhary *et al.*, 2007).
- C. Los HMA que al colonizar al huésped, inducen las defensas de la planta desencadenando una respuesta débil y transitoria que la sensibiliza frente al ataque de patógenos, lo cual le permite incrementar la síntesis de compuestos de defensa como fenólicos, fitoalexinas, proteínas PR, quitinasas y glucanasas (Wehner *et al.*, 2009). Además, producen una mayor lignificación de las paredes celulares, que dificulta la penetración del nemátodo (Tahat *et al.*, 2010). Siddiqui y Akhtar (2006) atribuyen a estos mecanismos de los HMA el éxito de la interacción entre *Glomus mosseae* y *Gigaspora margarita* vs *Meloidogyne incognita* en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) pues disminuyen el daño y la reproducción del nemátodo. Por otra parte el desarrollo de HMA y patógenos radicales depende de los fotosintatos de la planta huésped, debido a que ambos compiten por los componentes carbonados producto de la fotosíntesis, así la mayor demanda de carbono por parte de los HMA puede inhibir el desarrollo del nemátodo (Tahat *et al.*, 2010). Jaizme-Vega *et al.* (1997) al realizar estudios en plataneras micorrizadas y *Meloidogyne* spp, comprobaron que después de un largo periodo de convivencia en la raíz, la reproducción del nemátodo se ve afectada negativamente, mientras que la colonización micorrícica permanece inalterable. Esto sugiere que la micorrización es efectiva contra el ataque del patógeno si ha sido previamente establecida porque así los HMA tienen acceso primario a los productos carbonados sintetizados por la planta.

**Tabla2** Reproducción de *Meloidogyne* spp. en plantas de tomate de árbol inoculadas con HMA y PGPR

Tratamiento	Nematodos/g raíz	Población final de nematodos	Tasa de Reproducción	Índice de Agallamiento
H0P0Mi	6578 e	32692 d	16.35 d	4.00 d
H1P0Mi	5977 d	31379 d	15.70 d	3.00 c
H0P2Mi	4888 c	26590 c	13.30 c	2.92 c
H0P1Mi	4767 c	25169 b	12.58 b	2.75 c
H1P2Mi	4066 b	23908 b	11.95 b	2.18 b
H1P1Mi	3322 a	19699 a	9.85 a	1.83 a

Tasa de reproducción= población final/ población inicial.

Dentro de la misma columna letras distintas indican diferencias significativas según el test DGC ( $p \leq 0.05$ ).

**H0:** Sin HMA, **H1:** Con HMA, **P0:** Sin *P. putida*, **P1:** Cepa 1 de *P. putida*, **P2:** Cepa 2 de *P. putida*, **Mi:** *Meloidogyne* spp.

### 3.3 Población final micorrícica y bacteriana

En la Tabla 3, se presenta la evaluación de la población final de HMA, y *Pseudomonas putida* en plantas de tomate de árbol, observándose que los valores de las variables antes mencionadas disminuyen en presencia de *Meloidogyne* spp. En todos los tratamientos en los que se aplicó HMA y PGPR (P1 y P2) las micorrizas promovieron el crecimiento de la población de bacterias.

**Tabla 3** Población de esporas de HMA, porcentaje de colonización micorrícica y población bacteriana en plantas de tomate de árbol 60 días después de la inoculación con nemátodos.

Tratamiento	UFC/gr raíz <i>P. putida</i>	Esporas/g suelo HMA	% de Colonización HMA
H0P0M0	0.0E+00	-	-
H0P1M0	2.0E+05	-	-
H0P2M0	2.6E+05	-	-
H1P0M0	0.0E+00	29.64 b	63.33 b
H1P1M0	2.6E+05	32.45 b	65.33 b
H1P2M0	2.9E+05	37.95 a	73.67 a
H0P0Mi	0.0E+00	-	-
H0P1Mi	1.7E+05	-	-
H0P2Mi	1.5E+05	-	-
H1P0Mi	0.0E+00	17.87 c	43.00 c
H1P1Mi	2.3E+05	23.11 c	46.67 c
H1P2Mi	2.4E+05	19.20 c	44.67 c

Dentro de la misma columna letras distintas indican diferencias significativas según el test DGC ( $p \leq 0.05$ ). **H0**: Sin HMA, **H1**: Con HMA, **P0**: Sin *P. putida*, **P1**: Cepa 1 de *P. putida*, **P2**: Cepa 2 de *P. putida*, **M0**: Sin nematodos, **Mi**: Con nematodo.

Tanto el número de esporas por gramo de suelo como el porcentaje de colonización micorrícica (Tabla 3) en tratamientos con *Meloidogyne* spp., no presentan diferencias estadísticas entre sus tratamientos, sin embargo no hay efectos negativos de las bacterias en el establecimiento de la simbiosis micorrícica.

En las plantas sin *Meloidogyne* spp. tanto en la población de esporas como en el porcentaje de colonización micorrícica, existen diferencias estadísticas significativas en la interacción H1P2 respecto a los demás tratamientos, alcanzando la mayor media poblacional.

## 4 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la interacción entre HMA y *P. putida* disminuye el daño y la infección causada por *Meloidogyne* spp. en tomate de árbol.

Existe un efecto de protección en las plantas infectadas con *Meloidogyne* spp. al aplicar HMA y *P. putida*, donde se reduce la reproducción y el agallamiento del parásito.

Los microorganismos rizosféricos utilizados en el presente estudio, demostraron tener un efecto positivo sobre el desarrollo de las plantas y la protección contra nematodos por lo que pueden ser consideradas organismos con potencial, dentro del área de control biológico.

Se recomienda efectuar pruebas *in-vitro* de diferentes cepas de *P. putida* con capacidad de producir metabolitos secundarios como sideróforos y antibióticos, para la selección de rizobacterias como agentes de biocontrol.

## REFERENCIAS

1. Abad P., Favery B., Rosso M., Castagnone-Sereno P. (2003). Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. *Molecular Plant Pathology* 4 ( 4 ): 217–224.
2. Azcón-Aguilar, C. Bagó, B. (1994). Physiological characteristics of the host plant promoting and undisturbed functioning of the mycorrhizal symbiosis. ALS, Birkhauser, Basel, Switzerland, pp 47-60.
3. Azcón-Aguilar C, Barea JM. (1996). Arbuscular mycorrhizal and biological control of soil-borne plant pathogens. An overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6: 457-464.
4. Barea, J (1991). Vesicular Arbuscular Mycorrhizae as Modifiers of Soil Fertility. Stewart, B (ed). *Advances in soil science*, 15.
5. Barea, J.M., Andrade, G., Bianciotto, V., Dowling, D., Lohrke, S., Bonfante, P., O'gara, F. y Azcón, C. (1998). Impact on arbuscular mycorrhizal formation of *Pseudomonas* strains used as inoculants for the biocontrol of soilborne plant fungal pathogens. *Applied Environmental Microbiology*. 64: 2304-2307.
6. Barea, J.M., Azcón-Aguilar, C., Azcón, R. 1997. Interactions between mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms within the context of sustainable soil plant systems. In: Gange AC, Brown VK (Eds) *Multitrophic interactions in terrestrial systems*. Blackwell Science, Oxford, pp. 65-77.
7. Bago, B., Azcón, C. 1997. Changes in the rhizospheric pH induced by arbuscular mycorrhizal formation in onion (*Allium cepa* L.). *Z Pflanzenernähr Bodenk*. 160: 333-339.
8. Bowen,G., Rovira, A. (1999). The rhizosphere and its management to improve plant growth. *Agron*.66,1-102
9. Choudhary, D.K., Prakash, A., & Johri, B,N. 2007. Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action. *Indian J. Microbiol*. 47:289 297
- 10.FAO. 1991. Producción agrícola sostenible: consecuencias para la producción agraria internacional. Estudio FAO Investigación y Tecnología 4. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. pp: 1- 46.
- 11.Hernández, A. Heydrich, M., Velázquez. (2006).Perspectivas del empleo de rizobacterias como agentes de control biológico en cultivos de importancia económica. *Fitopatología*, 24,42-49.
- 12.Herrera-Peraza R., Furrázola E, Ferrer R., Fernández R. y Torres Y. (2004). Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario. Cuba. Revista CENIC. Ciencias Biológicas. 35: 113-123.
- 13.INIAP. (2008). Editores: Aida Villavicencio y Wilson Vásquez. Guía técnica de cultivo. Manual No. 73. Quito-Ecuador.
- 14.Jaizme-Vega. Azcón, R. (1995) Response of some tropical and subtropical cultures to Endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*. 5:213-217.

15. Jaizme, M.C., Tenoury, P., Pinochet, J. y Jaumot, M. 1997. Interactions between the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and *Glomus mosseae* in banana. *Plant and Soil*. 196: 27-35.
16. Jaizme-Vega MC, Rodríguez-Romero AS, Barroso Núñez LA. 2006. Effect of the combined inoculation of two arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria on papaya (*Carica papaya* L.) infected with the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Fruits* 61: 151-162.
17. Jayaprakashvel, M., Muthezhilan, R., Srinivasan, A., Jaffar H., Gobalakrishnan, S., Jacky, B., Kaarthikeyan, C., Muthulakshmi R. (2010). Hydrogen Cyanide Mediated Biocontrol Potential of *Pseudomonas* sp. AMET1055 Isolated from The Rhizosphere of Coastal Sand Dune Vegetation. *Advanced Biotech*, 9, 39-42.
18. Kloepper, J., Tuzun, S., Zehnder, G., y Wei, G. 1997. Multiple Disease Protection by Rhizobacteria that Induce Systemic Resistance historical Precedence. *Phytopathol* 87:136–137.
19. Phillips, J.M., Hayman, D.S. 1970. Improved procedure for cleaning roots and staining parasitic and Vesicular-Arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 5: 158-161.
20. Rodríguez-Romero, A., Badosa, E., Montesinos, E. and Jaizme-Vega, M. (2007), Growth promotion and biological control of root-knot nematodes in micropropagated banana during the nursery stage by treatment with specific bacterial strains. *Annals of Applied Biology*, 152: 41–48.
21. Schippers B., Baakker, A.W., Van Peer. (1990). Beneficial and deleterious effects of HCN-producing pseudomonads on rhizosphere interactions. *Plant and Soil*, 129. 75-83.
22. Siddiqui, Z. A., Akhtar, S. (2006). Effects of AM fungi and organic fertilizers on the reproduction of the nematode *Meloidogyne incognita* and on the growth and water loss of tomato. *Biol Fertil Soils*, 43, 603–609.
23. Siddiqui, Z. (2004) Effect of plant growth promoting bacteria and composted organic fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and tomato growth. *Bioresour Technol* 95:223–227
24. Siddiqui, Z. A., Iqbal, A., Mahmood, I. (2001) Effects of *Pseudomonas fluorescens* and fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Appl Soil Ecol* 16:179–185
25. Siddiqui, Z. A., Mahmood, I. (1995) Role of plant symbionts in nematode management: a review. *Bioresour Technol* 54:217–226
26. Siddiqui, Z. A., Mahmood, I. (1998) Effect of a plant growth promoting bacterium, an AM fungus and soil types on the morphometrics and reproduction of *Meloidogyne javanica* on tomato. *Appl Soil Ecol* 8:77–84
27. Siddiqui, Z. A., Mahmood, I., Khan, M.W. (1999) VAM fungi as prospective biocontrol agents for plant parasitic nematodes. *Modern approaches and innovations in soil management*. Rastogi, Meerut, India, pp 47–58
28. Siddiqui, Z. A., Mahmood, I. (2001). Effects of rhizobacteria and root symbionts on the reproduction of *Meloidogyne javanica* and growth of chickpea. *Bioresource Technology* 79. 41-45
29. Siddiqui, Z.A., Ashi, Q., Akhtar, S. (2009): Biocontrol of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* by *Pseudomonas* and *Bacillus* isolates on *Pisum sativum*, *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*, 42:12, 1154-1164

30. Soria N., Padilla F., Larrea G. (1995). Guía para el cultivo de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) 1-23.
31. Smith, S. E., Read, D. J. (1997). Mycorrhizal symbiosis. San Diego: Academic Press. 89-95.
32. Tahat, M., Kamaruzaman, S., Othman, R. 2010. Mycorrhizal Fungi as a Biocontrol Agent. *Plant Pathology Journal*, 9: 198-207.
33. Tenuta. M. (2004). Plant growth promoting rhizobacteria: prospects for increasing nutrient acquisition and disease control. Department of soil science, University of Manitoba. 76-82.
34. Wehner, J., Antunes, P., Powell, J., Mazukatow, J. Rillig M. 2009. Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity? *Pedobiologia*. 53:197-201.
35. Zuckerman B., Mal W. y Harrison M. (eds) (1985). Fitonematología: Manual de Laboratorio. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza (CATIE).

## JORNADAS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

**Pazmiño Terán María Belén**

Carrera de Ingeniería Civil  
Escuela Politécnica del Ejército  
Sangolquí, Ecuador

### RESUMEN

Se presenta el evento denominado: “Jornadas de Investigación Científica desde las Aulas” organizado por Roberto Aguiar, en el cual participan estudiantes y docentes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica del Ejército, con artículos de interés profesional realizados durante el semestre.

### ABSTRACT

The paper presents the event: “Conference of Scientific Research from Classroom” organized by Roberto Aguiar, in which students and teachers of Civil Engineering degree from Army Polytechnic, participate with articles of professional interest made during the semester.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica del Ejército participan en Jornadas de Investigación desde las Aulas, con el propósito de dar a conocer sus proyectos desarrollados durante el semestre en curso.

Roberto Aguiar, docente y organizador del encuentro, manifiesta que el principal objetivo de esta fiesta científica es incentivar a los estudiantes a leer artículos técnicos, escribirlos y exponerlos, desarrollar trabajos de manera sistemática y distinguir los diferentes campos de investigación.



**Figura 31** Organizador Dr. Roberto Aguiar

En el evento participan también docentes de la carrera para quienes estas jornadas son un estímulo para investigar y difundir sus trabajos a través de conferencias.

La información completa acerca de los encuentros realizados y del próximo evento se encuentra en la página web: [www.ia.espe.edu.ec](http://www.ia.espe.edu.ec).

## 2 PRIMERA JORNADA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA



**Figura 32** Primera Jornada de Investigación Científica

Los artículos que fueron expuestos en las Primeras Jornadas de Investigación Científica son los que se presentan a continuación.

### 2.1 Reforzamiento de pórticos transversales y longitudinales de la escuela Sucre con perfiles de acero

En este artículo, se presenta de manera detallada el cálculo de la deriva de piso de una serie de pórticos reforzados con perfiles de acero 2G dispuestos en forma de “V” invertida (en Pórticos Transversales) y en forma de diagonal (en Pórticos Longitudinales) para dos bloques estructurales distintos pertenecientes a la Escuela Sucre en Quito.



**Figura 33** Edificio reforzado con perfiles en “V” invertida (Chile)

## 2.2 Comparación de tres formas de reforzar una estructura

Se presenta tres formas de reforzar sísmicamente una estructura de tres pisos, ubicada en la región sierra. La primera se refuerza considerando diagonales de acero. La segunda se refuerza colocando muros cabezales en los pórticos exteriores transversales. La última forma de reforzamiento es similar a la anterior con la diferencia de que los muros cabezales son más pequeños y se ubican en los pórticos exteriores transversales y en un pórtico interior.

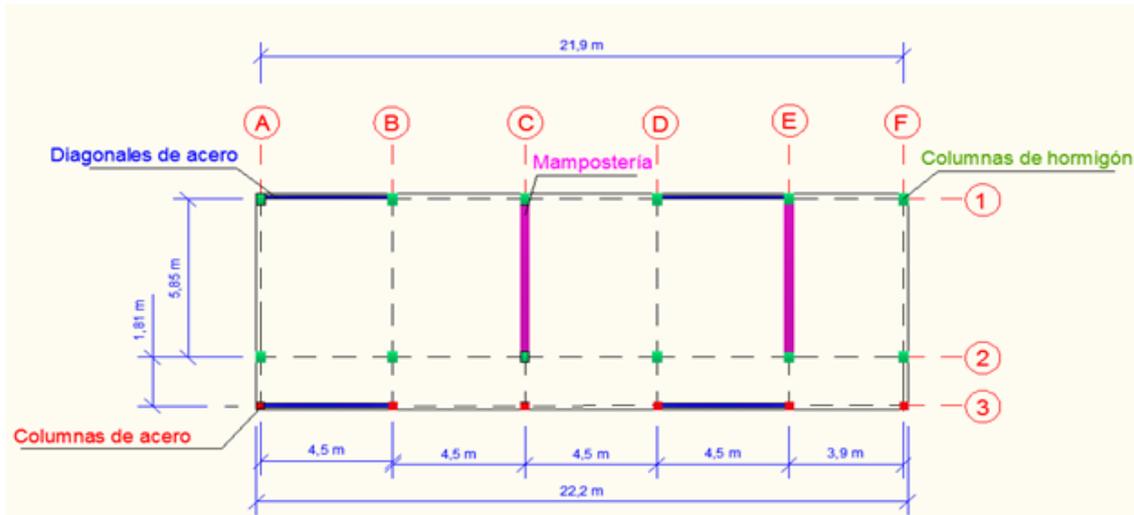


Figura 34 Propuesta 1: Columnas de acero en voladizo y diagonales de acero

## 2.3 Análisis de conexiones viga – columna de acuerdo al Código ACI 318SR-05

Se presenta las recomendaciones del Comité ACI 318SR-05, considerando lo que sucede internamente en un nudo y sus problemas potenciales relacionados con el cortante tanto horizontal como vertical, refuerzo de confinamiento, deterioro de adherencia y longitud de anclaje, para mejorar la resistencia de un nudo sometido a cargas durante un evento sísmico.



Figura 35 Terremoto y tsunami, 26 de diciembre de 2004 Sur Este de Asia

### 3 SEGUNDA JORNADA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA



Figura 36 Segunda Jornada de Investigación Científica

El evento se realizó el día 21 de marzo de 2013 en el Batallón Cotopaxi, al cual asistieron alrededor de 100 estudiantes.

El tema principal del evento fue la microzonificación sísmica de Quito, investigación que fue expuesta por Roberto Aguiar. Además, el docente Ernesto Pro, presentó el minicurso sobre cimentaciones superficiales.

SEGUNDA JORNADA DE:  
**"INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DESDE LAS AULAS"**  
CONVOCATORIA 2013  
**"REFORZAMIENTO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS"**

**OBJETIVOS**

- Presentar las Investigaciones realizadas por los estudiantes de la materia de: "Análisis Sísmico de Estructuras" en el curso realizado en Enero de 2013.
- Presentar el mini curso "MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE QUITO" a cargo Dr. Roberto Aguiar
- Presentar el mini curso "CIMENTACIONES SUPERFICIALES" a cargo Ing. Ernesto Pro.

Dr. Roberto Aguiar  
Director

**22**  
MARZO  
8:00 a 16:30

**Investigando desde las aulas**

Información: Analia Gallegos Telf.: 0984435223  
Lugar: Batallón Cotopaxi (Tcn. De EM Ortiz Rodrigo)  
Con el Auspicio de:

**Valor 12 USD**

Figura 37 Afiche Segunda Jornada de Investigación Científica

### 3.1 Análisis sísmico espacial de estructuras con aisladores sísmicos colocados en pisos intermedios

Se presenta el análisis sísmico espacial y en el plano de una estructura de 4 pisos con aisladores sísmicos colocados sobre el segundo piso, la misma que es sometida ante la acción sísmica estipulada en el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11., empleando métodos dinámicos aproximados.



Figura 38 Aislador sísmico en Centro Médico Imbanaco

### 3.2 Reforzamiento sísmico de naves industriales con vigas San Andrés

Los arriostramientos se consideran generalmente como elementos secundarios en la configuración de estructuras, sin embargo estos tienen un papel importante dentro del comportamiento del conjunto estructural.

En el artículo, se encuentra el cálculo para el arriostramiento “VIGA SAN ANDRÉS”, constituido por entramados dispuestos en forma de cruz, que se localizan en los extremos de las naves industriales y la solución planteada para este tipo de viga es como el de una celosía.

Los cálculos se realizaron mediante programas de CEINCI-LAB, que permiten obtener los desplazamientos y fuerzas de la estructura frente a un sismo.

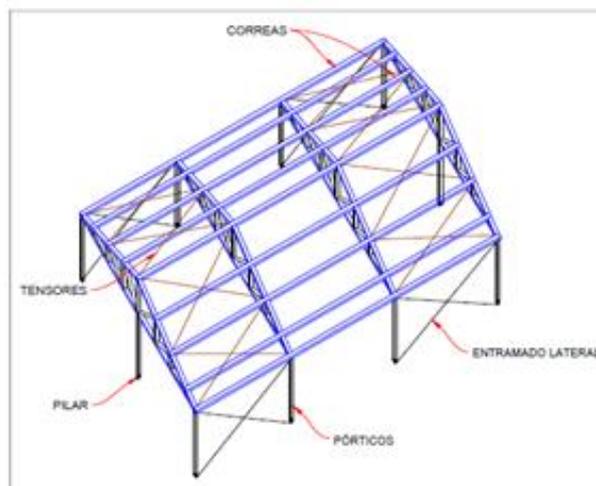


Figura 39 Esquema nave industrial con viga San Andrés

### 3.3 Microzonificación sísmica del Centro Norte de Quito

El crecimiento de la ciudad de Quito en sentido horizontal está llegando a sus límites por lo que se están construyendo grandes edificios en varios sectores de la ciudad, de tal manera que el crecimiento vertical, que es una realidad, conlleva a tener un mayor riesgo sísmico por la gran cantidad de gente que está viviendo o va a vivir en edificios de altura.

En estas condiciones es fundamental que la ciudad tenga un estudio de microzonificación sísmica, tarea que ha sido emprendida por el Distrito Metropolitano de Quito en el 2012; por el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, I.P.G.H., y la Escuela Politécnica del Ejército, ESPE, con el desarrollo de esta investigación, contando con asesoramiento y colaboración de la Universidad Tecnológica Nacional de Mendoza, Argentina y de la Universidad de la Península de Santa Elena.

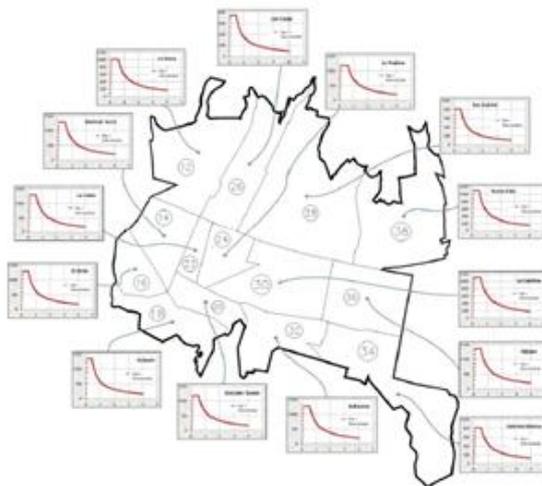


Figura 40 Microzonificación sísmica del Centro Norte de Quito

### 3.4 Modelo geométrico del foco del sismo de Baeza Napo – Ecuador 1987 a partir de datos macro sísmicos

El estudio de los parámetros macro sísmicos de un sismo de importancia en el país, en este caso, el sismo de Baeza de 1987, permite identificar correctamente, parámetros de gran importancia, como profundidades focales y modelos de ruptura, que las técnicas instrumentales no consideran en la definición de sus epicentros.

Este análisis emplea la metodología de Blake-Shebalín para llevar a cabo dicho análisis y obtener resultados de fácil interpretación, profundizando las características, importancia y efectos que tuvo el sismo analizado para nuestro país, y generando modelos de ruptura del foco sustentados en las gráficas de isosistas obtenidas de las publicaciones de Egred (1999).



Figura 41 Destrucción total de la basílica La Dolorosa (Ibarra)

## 4 TERCERA JORNADA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

El tercer encuentro está programado para realizarse el día 18 de octubre de 2013, en las Instalaciones de la ESPE; a más de las investigaciones realizadas por los estudiantes se presentarán los siguientes mini cursos:

1. “Micro pavimentos” a cargo del Prof. Franco Rojas.
2. “Unión Viga Columna” que será expuesto por el Prof. Pablo Caiza.
3. “Aisladores Sísmicos” que presentará el Prof. Roberto Aguiar.

Si bien es cierto, las Jornadas están orientadas a los estudiantes de Ingeniería Civil de la ESPE, no es menos cierto que pueden asistir estudiantes vinculados con la Ingeniería y la Arquitectura de todas las regiones del País.

### LINKS DE INTERÉS

1. Página web: [ia.espe.edu.ec](http://ia.espe.edu.ec)
2. Página web: [blogs.espe.edu.ec/blog/2013/03/26/la-ciencia-nace-en-las-aulas/](http://blogs.espe.edu.ec/blog/2013/03/26/la-ciencia-nace-en-las-aulas/)