

***MEMORIAS DEL***  
***“VII CONGRESO DE LA RED***  
***LATINOAMERICANA DE CIENCIAS***  
***AMBIENTALES”***

**COMISIÓN CIENTÍFICA DE FÍSICA**

ISBN: 978-9968-641-26-5

## CONTENIDO

F.1.O. Análisis térmico de la descarga de agua de enfriamiento de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde, Veracruz, México, mediante técnicas de percepción remota .....	1063
RESUMEN .....	1063
ABSTRACT .....	1064
INTRODUCCIÓN .....	1064
METODOLOGIA .....	1066
RESULTADOS .....	1072
CONCLUSIONES .....	1073
BIBLIOGRAFIA .....	1073
F.2.O. Determinación del factor de amplificación ( <i>TETO</i> ), en viviendas de 1 y 2 niveles, de la Unidad habitacional Valle San Pedro, Tijuana, B.C., mediante instrumentación de vibración ambiental .....	1075
RESUMEN .....	1075
ABSTRACT .....	1076
INTRODUCCION .....	1077
METODOLOGIA .....	1080
RESULTADOS .....	1082
DISCUSIONES .....	1084
AGRADECIMIENTOS .....	1084
BIBLIOGRAFIA .....	1084
F.3.P. Efectos del uso de la tierra y de la población sobre la calidad del agua superficial en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala .....	1086
RESUMEN .....	1086
ABSTRACT .....	1087
INTRODUCCION .....	1087
METODOLOGIA .....	1088
RESULTADOS Y DISCUSION .....	1089
CONCLUSION .....	1091
AGRADECIMIENTOS .....	1091
BIBLIOGRAFÍA .....	1092
ANEXOS .....	1093
F.4.P. Variación estacional de la estabilidad de agregados y grado de humectación de un andisol con distintos manejos agrícolas .....	1096
	1061

RESUMEN.....	1096
ABSTRACT.....	1097
INTRODUCCION.....	1097
METODOLOGIA.....	1098
RESULTADOS Y DISCUSION.....	1100
CONCLUSIONES.....	1104
AGRADECIMIENTOS.....	1105
BIBLIOGRAFIA.....	1105
F.5.P. Los materiales ópticos como instrumento para determinar la materia orgánica presente en el agua.....	1106
RESUMEN.....	1106
ABSTRACT.....	1107
INTRODUCCION.....	1107
DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	1109
RESULTADOS Y DISCUSION.....	1110
CONCLUSIONES.....	1112
AGRADECIMIENTOS.....	1113
BIBLIOGRAFIA.....	1113

## COMISIÓN DE FÍSICA

### **F.1.O. Análisis térmico de la descarga de agua de enfriamiento de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde, Veracruz, México, mediante técnicas de percepción remota Thermal remote sensing of cooling water discharge from Laguna Verde Nuclear Power Plant**

Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose<sup>1</sup>, Diana Nadxellii Casas Gutiérrez<sup>2</sup>, Alba Beatriz Vázquez González<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, UNAM, México, correo-e: [rsepulved@gmail.com](mailto:rsepulved@gmail.com) Tel.: 5622-8010 ext. 1225

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, México, correo-e: [dianaksasg@hotmail.com](mailto:dianaksasg@hotmail.com) Tel.: 5623-3500 ext. 1351

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, UNAM, México, correo-e: [abvg270@gmail.com](mailto:abvg270@gmail.com) Tel.: 5622-8010 ext. 1227

## RESUMEN

En este trabajo se analiza la descarga térmica de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde (CNLV) al Golfo de México, clasificado como Gran Ecosistema Marino. El efluente del agua de enfriamiento de la planta es vertido en el Golfo, después de fluir por un canal de aproximadamente 1600 m de largo sin lograr la estabilización térmica adecuada. Se determinó el gradiente de temperatura de la descarga mediante el uso de imágenes satelitales proporcionadas por la plataforma Landsat 8, de lanzamiento reciente. Se optó por este tipo de imágenes multiespectrales ya que poseen dos bandas dedicadas al análisis térmico de las superficies, adquiridas mediante el sensor TIRS. Como software de procesamiento se utilizó el programa IDRISI Selva Edition. Para obtener información térmica de las bandas 10 y 11 de Landsat, se utilizaron diversas expresiones que correlacionan los niveles digitales de cada pixel con la radiancia espectral para posteriormente estimar la temperatura con base en la brillantez del pixel. Así mismo se obtuvo la temperatura promedio del Golfo mediante la generación de puntos de distribución espacial aleatoria para obtener incrementos de la temperatura debidos a la descarga respecto a ese promedio. Como resultado del análisis digital se encontró que la descarga afecta negativamente un área importante desde el punto de vista ambiental e incluso operativo de la planta.

**Palabras clave:** Percepción remota, temperatura superficial, descarga térmica

## ABSTRACT

This paper analyzes the thermal discharge of Laguna Verde Nuclear Power Plant (CNLV) on the Gulf of Mexico, classified as a Large Marine Ecosystem. The cooling water effluent from the power plant is discharged into the Gulf, after flowing through a channel of approximately 1600 m long without proper thermal stabilization. The temperature gradient of CNLV discharge was estimated using images obtained from Landsat 8 satellite data, because this type of multispectral images have two thermal bands for surface temperature analysis. The images were acquired by the sensor TIRS, and processing software was IDRISI Selva Edition. To obtain thermal information from Landsat bands 10 and 11, different expressions were used to correlate each pixel digital level with actual temperature. To achieve this correlation, digital levels were associated with the spectral radiance to estimate temperature due to the brightness of each pixel. The average temperature of the Gulf was determined by generating random spatial distribution points and observing temperature increase in each pixel due to the thermal discharge. The results showed that the discharge adversely affects a large area from the standpoint of environmental and operating conditions of the plant.

**Keywords:** Remote Sensing, surface temperature, thermal discharge

## INTRODUCCIÓN

La *contaminación térmica* es aquella en la que el contaminante es una fuente de calor y se manifiesta como la reducción en la calidad del agua causada por incrementos en temperatura. Este tipo de contaminación es generalmente de origen antropogénico, principalmente resultado de los procesos de enfriamiento de las plantas generadoras de energía, que en muchas ocasiones extraen agua de ambientes acuáticos como fluido de enfriamiento por su abundancia y bajo costo.

Los cambios de temperatura en el agua pueden afectar los procesos vitales que implican reacciones químicas y la velocidad de éstas. Organismos acuáticos de sangre fría, como los peces, no pueden regular la temperatura de sus cuerpos de modo tan eficiente como los animales de sangre caliente, acelerando todos los procesos metabólicos, de modo que a mayor temperatura aumenta su necesidad de oxígeno, situación particularmente grave por la poca capacidad de retención de oxígeno del agua caliente. Por otro lado los mecanismos reproductores, como el desove, están accionados por cambios de temperatura por lo que cambios anómalos en la temperatura del agua pueden transformar este ciclo. Se ha demostrado que un cambio de 1 a 2 °C en la temperatura del agua puede tener un impacto considerable en el ambiente (KEPC, 1994). Los ecosistemas acuáticos cerca de las centrales eléctricas están sujetos no sólo a los efectos de una temperatura elevada, sino también a los choques térmicos de cambios rápidos en temperatura.

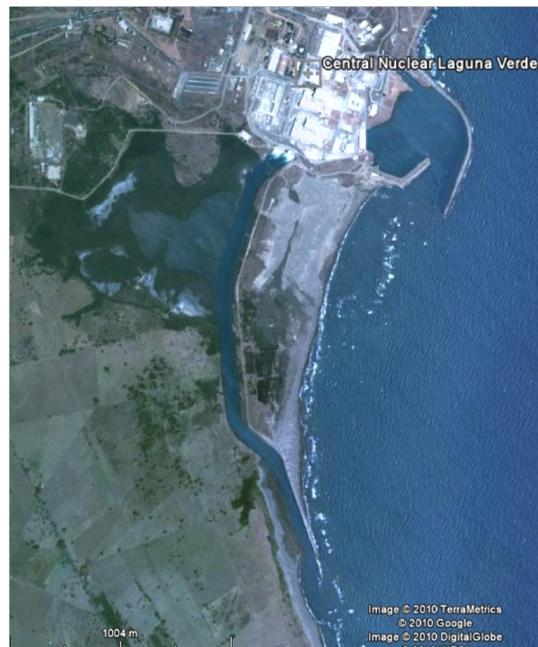
El Golfo de México se sitúa entre la costa este de México, el noroeste de Cuba y la costa sur de los Estados Unidos de América. Es una cuenca semicerrada que se comunica con una conexión con el Mar Caribe hacia el sur y con una pequeña entrada y salida en el oeste central del Océano Atlántico a través del canal de Yucatán y del estrecho de Florida; y presenta una profundidad máxima de 4,000 m en la región central. Está clasificado como Gran Ecosistema Marino (GEM) debido a su importancia atribuida a las características físicas, biológicas y químicas que presenta, desde el punto de vista de la productividad primaria y la biodiversidad (Rivera & Borges, 2006). Este GEM enfrenta graves impactos por contaminación, sobreexplotación de sus recursos bióticos y cambios ambientales que se reflejan en destrucción de hábitats y bajas producciones de biomasa.

Laguna Verde es la única Central Nucleoeléctrica de México, se encuentra ubicada sobre la costa del Golfo de México en el estado de Veracruz (véase Figura 1), cuenta con un área de 419 Ha. Estratégicamente esta central fue construida en un sitio que tuviera relativa cercanía a los centros de consumo (a 290 km. al noreste de la Ciudad de México), disponibilidad de agua de enfriamiento (agua del Golfo de México), estabilidad sísmica y tipo de suelo rocoso, adecuado para su cimentación.

Esta Central Nucleoeléctrica genera electricidad mediante dos reactores nucleares tipo BWR/5 (Reactor de Agua Ligera en Ebullición) en donde se forma vapor de agua que hace girar una turbina, este movimiento es transmitido a un generador, el cual produce la energía eléctrica. Desde su concepción ha sido un proyecto muy controversial, debido a las consecuencias que se podrían generar si existiera un accidente en esta central.

El interés principal de esta revisión se enfoca en el proceso de enfriamiento del condensador, el cual se abastece de agua de mar por medio de ocho bombas de 1,250 Hp cada una, circulando 28,000 L/s por cada condensador, siendo su descarga de 56 m<sup>3</sup>/s con una velocidad media aproximada de 1.4 m/s a través de un canal de 1,680 m de largo, llegando al Golfo de México. Laguna Verde requiere un gran caudal de agua para enfriamiento, más que la mayoría de las unidades de enfriamiento de centrales nucleoelectricas alrededor del mundo, debido a que la temperatura del agua de mar es muy elevada debido a su posición geográfica.

La CFE reporta que la diferencia de temperatura de la descarga al entrar en contacto con el mar no rebasa los 2.5 °C (CFE, 2008), cumpliendo con la normatividad (regulada por la Comisión Nacional del Agua). Este trabajo pretende analizar la diferencia de la



**Figura 1** Vista detallada de la Central y el canal de descarga. Fuente: Google, 2010

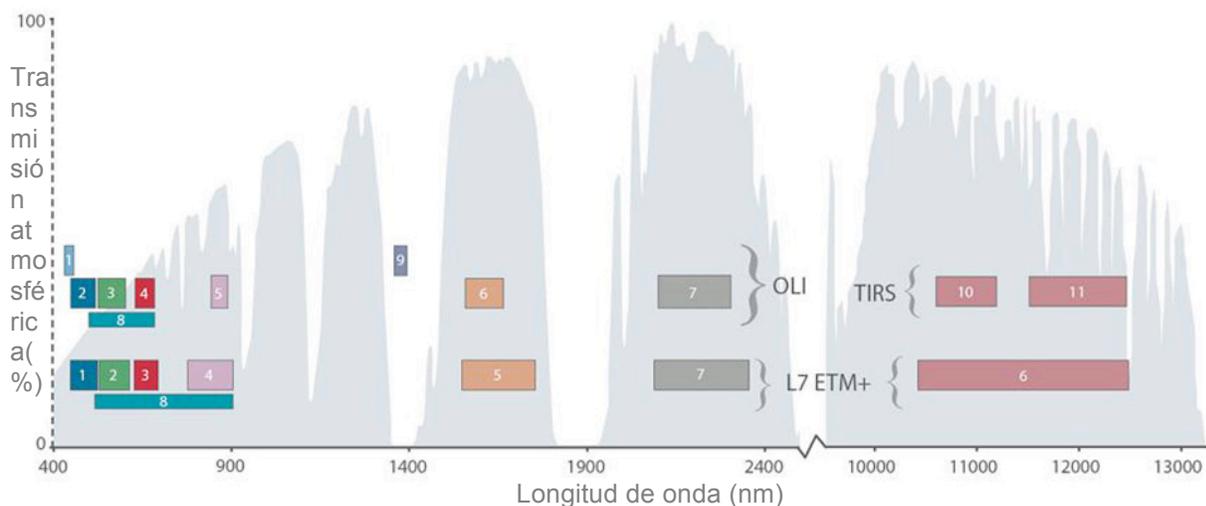
La CFE reporta que la diferencia de temperatura de la descarga al entrar en contacto con el mar no rebasa los 2.5 °C (CFE, 2008), cumpliendo con la normatividad (regulada por la Comisión Nacional del Agua). Este trabajo pretende analizar la diferencia de la

descarga con la temperatura media del mar para comprobar si el canal de estabilización de 1,680 m es suficiente para disponer en el ambiente el agua de enfriamiento.

## METODOLOGIA

Se utilizó como herramienta la información que proveen las imágenes satelitales de la plataforma Landsat 8 (sensores OLI - Operational Land Imager- y TIRS -Thermal Infrared Sensor-). La decisión se apoya en que este tipo de imágenes poseen un sensor dedicado al análisis térmico de las superficies (véase la Figura 2).

La resolución espacial de las imágenes TIRS es de 100 m, la del sensor OLI es de 30 m, la resolución radiométrica de ambas es de 16 bits. Por otro lado, la resolución temporal es de 16 días, con el mismo calendario de adquisición que Landsat 5 y la resolución espectral se aprecia en la Figura 2. Como software de procesamiento se utilizó el programa IDRISI Selva Edition. Es un software especializado en percepción remota y elementos de Sistemas de Información Geográfica (SIG).



**Figura 2** Bandas de los sensores OLI y TIRS de la plataforma Landsat 8, comparadas con su predecesor Landsat 7 (sensor ETM+). Fuente: USGS, 2013

La imagen adquirida corresponde a la fecha del 7 de junio de 2013. La razón por la que se seleccionó esta fecha se basa en que la plataforma tiene pocas semanas en órbita y existen pocas escenas libres de nubosidad, así que se seleccionó la que tuviera mejores características de visibilidad (Figura 3).

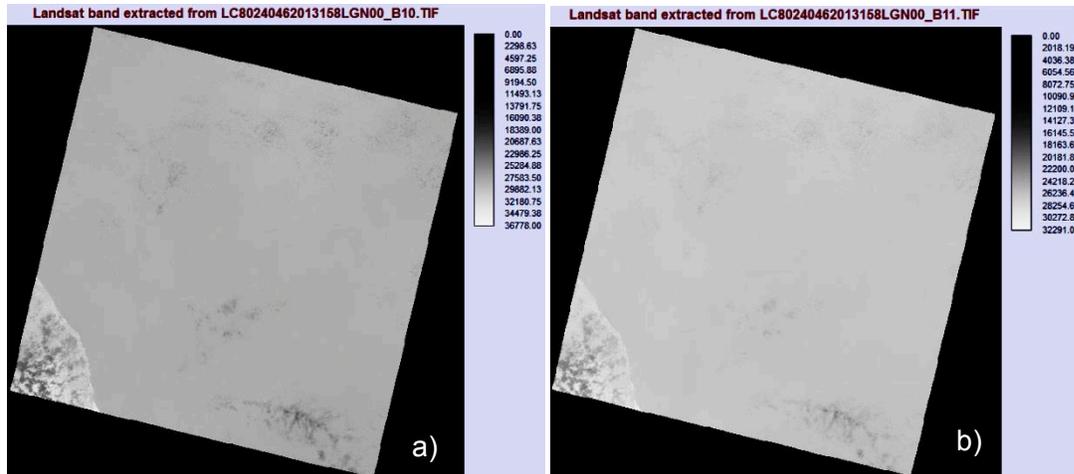


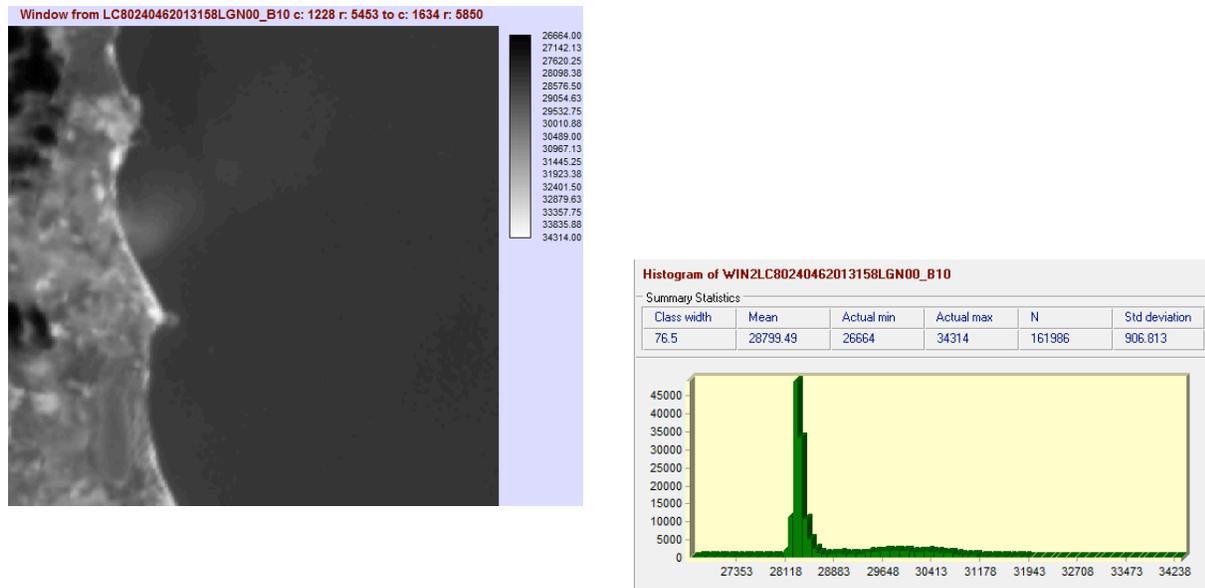
Figura 3 Escena seleccionada correspondiente a las bandas a)10 y b)11 del sensor TIRS de la plataforma Landsat 8

Es importante mencionar que las bandas 10 y 11 corresponden al sensor TIRS, especializado en entregar información para análisis térmicos, a través de fotodetectores infrarrojos (véase Tabla 1).

Banda	Longitud de onda central ( $\mu\text{m}$ )	Límite mínimo de banda ( $\mu\text{m}$ )	Límite máximo de banda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución espacial (m)
10	10.9	10.6	11.2	100
11	12.0	11.5	12.5	100

Tabla 1 Características de las bandas del sensor TIRS. Fuente: NASA, 2013

Se realizaron recortes de las escenas para optimizar el procesamiento de la información y facilitar los cálculos del programa, así como para facilitar la evaluación visual de los resultados del proceso. Se determinó utilizar la Banda 10 por ser la más adecuada para los fines del estudio. Se desplegó el histograma (Figura 4) para analizar la distribución de los píxeles.



**Figura 4** Recorte de la banda 10, con el histograma correspondiente

Para obtener información térmica de la banda 10 y 11 de Landsat 8, es necesario emplear expresiones que correlacionen los niveles digitales de cada pixel con la temperatura. Para esto, primeramente se deben relacionar los niveles digitales con la radiancia espectral (USGS, 2013), apoyándose en la Ecuación 1:

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$L_{\lambda}$  es la radiancia espectral correspondiente (Watts/( m<sup>2</sup> \* srad \* μm))

$M_L$  es un factor multiplicativo de reescalamiento específico por banda, extraído de los metadatos de la imagen

$A_L$  es un factor aditivo de reescalamiento específico por banda, extraído de los metadatos de la imagen

$Q_{cal}$  es el Nivel Digital de cada uno de los pixeles del arreglo

Una vez obtenida la radiancia espectral, se puede estimar la temperatura debido a la brillantez del pixel, utilizando la Ecuación 2 (relacionada con la expresión de Planck) con dos parámetros libres (Yang & Wang, 2001):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$T_B$  es la temperatura correspondiente a la radiancia  $L_\lambda$  del cuerpo negro (K)

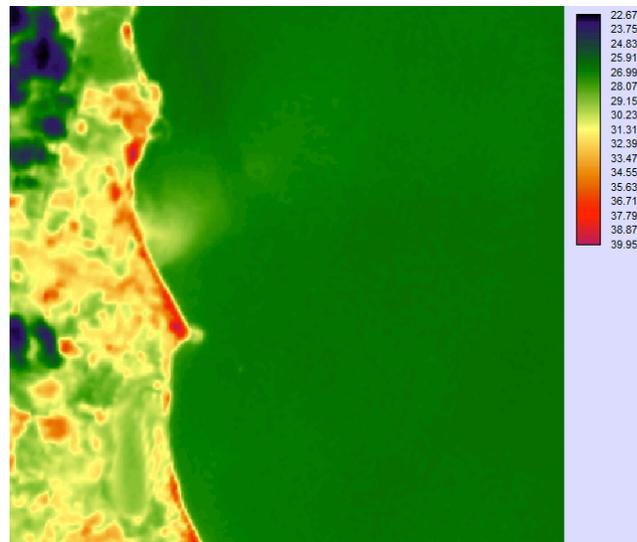
$K_1$  y  $K_2$  son constantes específicas de conversión térmica asociadas a las bandas extraídas de los metadatos de la imagen:

Los metadatos de la imagen necesarios para calcular estos valores se muestran en la Tabla 2.

Metadato	Valor
RADIANCE_MULT_BAND_10	3.3420 E-04
RADIANCE_ADD_BAND_10	0.10000
K1_Constant_Band_10	774.89
K2_Constant_Band_10	1321.08

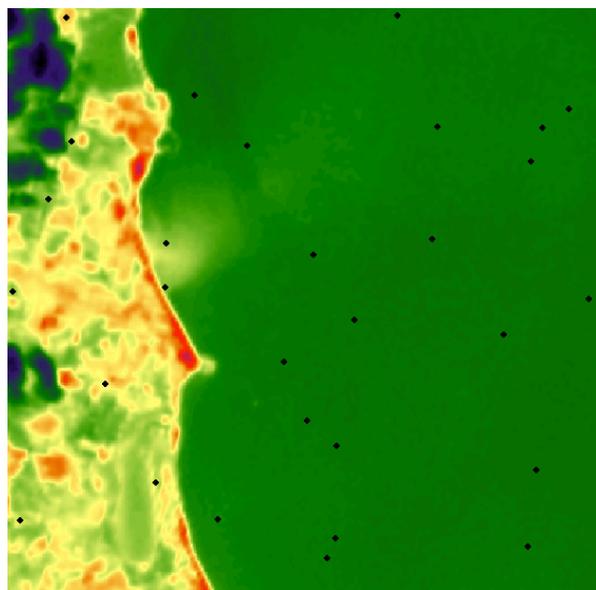
**Tabla 2** Metadatos utilizados de la imagen

Al operar estos logaritmos en las imágenes, se obtuvo la Figura 5, desplegándola con una paleta cuantitativa.



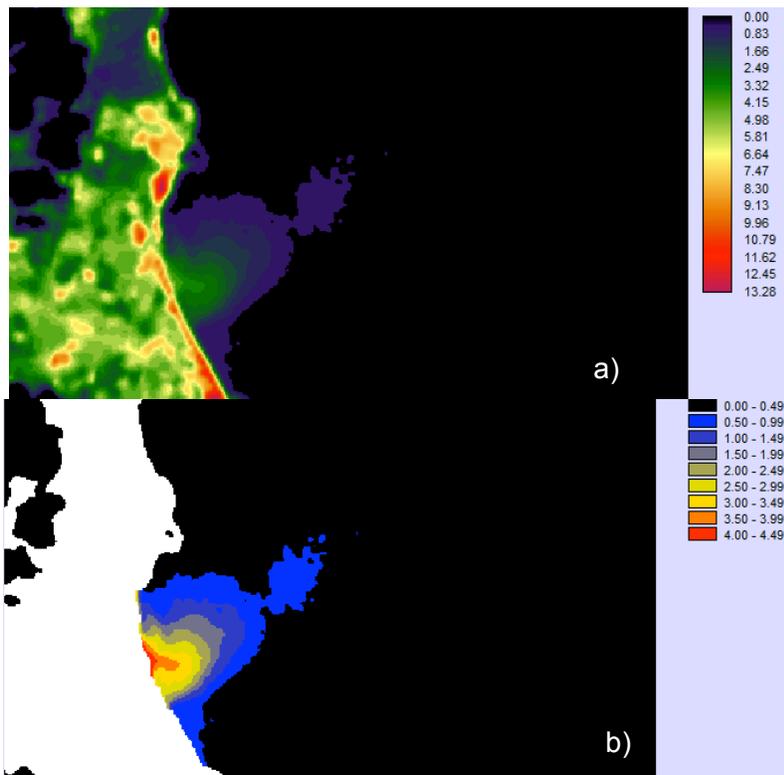
**Figura 5** Estimación de temperaturas en la banda 10

Posteriormente se generaron puntos aleatorios estratificados (Figura 6) para tener puntos de “muestreo” de la temperatura media del mar en ese día.



**Figura 6** Generación de puntos aleatorios estratificados en la banda 10

Con los puntos aleatorios se obtuvo en promedio la temperatura de 26.68 °C. A partir de esa temperatura, se plantea una reclasificación para que todas las temperaturas iguales o menores a 26.68 °C se conviertan en 0 °C. Posteriormente se agruparon los valores de temperatura en clases de 0.5 °C para obtener incrementos de temperatura (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5 y 6 °C). Todos los valores negativos se transforman a su vez a 0 °C. La imagen resultante se muestra en la Figura 7a. Así mismo, se enmascaró la imagen agrupando en una categoría al territorio continental, con lo cual se despliega la descarga térmica en incrementos con mayor claridad, como se muestra en la Figura 7b.



**Figura 7** a) Reclasificación y b) enmascaramiento de la descarga térmica

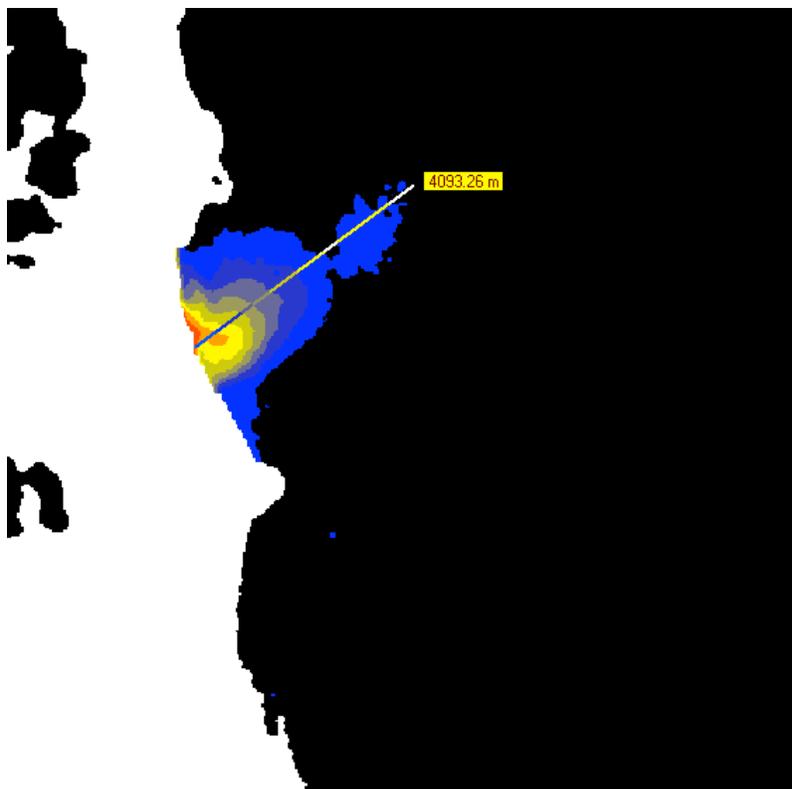
## RESULTADOS

Como se observa en la Figura 7, se obtuvieron 8 clases de pixeles asociados a incrementos de temperatura de 0.5 °C. Esta imagen no sólo nos indica la distribución de la descarga en el espacio, también es posible obtener el área de la superficie de agua que abarca cada una de las clases, como se muestra en la Tabla 3.

Se obtuvo la longitud máxima del impacto térmico, en la cual se presenta un incremento de 0.5 °C (Figura 8).

Incremento (°C)	Superficie (m <sup>2</sup> )
4.0	41400
3.5	122400
3.0	291600
2.5	335700
2.0	373500
1.5	545400
1.0	920700
0.5	2745900

**Tabla 3** Superficie debido al incremento en la temperatura superficial.



**Figura 8** . Longitud máxima de influencia de la descarga térmica

## CONCLUSIONES

El presente trabajo contribuye al conocimiento del comportamiento térmico de la descarga del agua de enfriamiento de la CNLV. A través del análisis térmico realizado se obtuvieron resultados congruentes reportados mediante otras técnicas. Se pueden constatar con otros estudios como en Silva y Botello, 2005 y en Ramírez-León et al., 2013.

El principal problema operativo del canal de estabilización térmica se debe a la suma de dos factores: la calidez de las aguas del Golfo de México y la presencia de altos niveles de humedad ambiental, por lo que el intercambio térmico con la atmósfera no se realiza de forma eficiente.

Es importante mencionar que las áreas y la longitud máxima del impacto térmico obtenidos dependen directamente de la resolución espacial del sensor TIRS, ya que cada pixel abarca 100 por 100 metros, por lo que el sensor entrega un promedio espacial de la superficie que cubre por pixel. Si se requiriera mayor detalle espacial, convendría utilizar otro sensor, empleando una metodología similar.

## BIBLIOGRAFIA

- CFE. (2006). Resumen Ejecutivo MIA- Particular Proyecto . *Obra de Toma Profunda para la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde, Veracruz*. Veracruz.
- CFE. (2008). *Del Fuego a la Energía Nuclear*. México: Tempera Impresos.
- Fernández de la Garza, R. (2009). *La nucleoelectricidad una oportunidad para México*. México, D.F: Academia de Ingeniería de México.
- Garnica, R. (2008). *Modelo matemático de los fenómenos que modifican el oleaje. Aplicado a las obras de protección de la Central Nucleo Eléctrica Laguna Verde (CNLV),. Tesis Maestría. Zacatenco*. Edo. Méx: IPN.
- Korea Electric Power Corporation. (1994). *A study on the reduction of thermal discharge effects around nuclear power plants. Technical Report No. 92-802*. Korea Electric Power Corporation Ltd.
- Ramírez-León, H., Couder-Castañeda, C., Herrera-Díaz, I., & Barrios-Piña, H. (2013). *Modelación numérica de la descarga térmica de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería,, 29 (2), 114-121.*

- Rivera, A. (2007). PLANEACIÓN ESTRATEGICA 2007-2011, una Oportunidad para la Calidad, Competitividad y Excelencia de la Central Laguna Verde. *Cardel Nautla, Ver.: CFE*.
- Rivera, E., & Borges, G. (2006). El Gran Ecosistema Marino del Golfo de México: Perspectivas para su Manejo. *JAINA Boletín Informativo*, 30-48.
- Silva, A. (1992). El medio ambiente en los alrededores de la CNLV. México, D.F.: CFE.
- Silva, A., & Botello, A. (2005). Evaluación del impacto ambiental de la central nucleoelectrica de Laguna Verde a 15 años de operación. En A. Botello, Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Campeche: UNAM-INE.
- Yang, J., & Wang, Y. (2001). Estimation of Land Surface Temperature using Landsat-7 ETM+ Thermal Infrared and weather station Data. Kingston: University of Rhode Island.

**F.2.O. Determinación del factor de amplificación  $\left(\frac{T_E}{T_0}\right)$ , en viviendas de 1 y 2 niveles, de la Unidad habitacional Valle San Pedro, Tijuana, B.C., mediante instrumentación de vibración ambiental**

**Determination of the amplification factor  $\left(\frac{T_E}{T_0}\right)$ , in buidings of one and two levels, residential area San Pedro Valley, Tijuana, BC, using ambient vibration instrumentation**

Mario González Duran<sup>1</sup>, Michelle Hallack Alegria<sup>1</sup>, Roberto Arroyo Matus<sup>3</sup>, Talía I. Hernández Sanchez<sup>2</sup>, , Elsa Barragán Rivera<sup>1</sup>,

Roberto Ramírez Alcantar<sup>1</sup>, Thalía Serrano Morales<sup>1</sup>, Alicia Ravelo García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ingeniería y Tecnología, Unidad Académica Valle de las Palmas, Universidad Autónoma de Baja California, gonzalezduranmario@uabc.edu.mx.

<sup>2</sup>Centro de Enseñanza Técnica y Superior, Campus Tijuana, [taliaisabel@hotmail.com](mailto:taliaisabel@hotmail.com)

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Guerrero, arroyomatus@hotmail.com

## RESUMEN

Este análisis se realizó en viviendas de 1 y 2 niveles, construidas a base de concreto armado, con un área de construcción no mayor a 72 m<sup>2</sup>, del desarrollo habitacional Valle San Pedro, ubicado en el municipio de Tijuana, Baja California, al noroeste de México. Dado que la región se encuentra inmersa en una zona tectónicamente activa, un sistema de fallas controlado por la falla transcurrente de donde resalta San Andrés, Imperial, y localmente la falla de Agua Caliente, la Nación, Coronado y Vallecitos, es importante conocer indicadores de daño estructural ante la manifestación de sismos, mediante diferentes metodologías, en este caso el estudio fue realizado mediante una técnica de cocientes espectrales H/V propuesta por Nakamura, considerada como no destructiva, basada en los registros de vibración ambiental de la estructura y del sitio donde esta desplantada, realizados con un acelerómetro K2 de la marca Kinometrics de 3 canales, con sensibilidad de 200 muestras por segundo. El propósito de la metodología es determinar el Período Fundamental de la estructura  $T_E$  y del suelo  $T_0$ , y

con ello calcular el factor de amplificación que está dado por la relación  $T_E / T_0$ , en condiciones actuales. En la medida que este valor se aproxime a 1, se espera que se tengan daños severos a la estructura debido a que se presenta el fenómeno de resonancia. Con base en los resultados obtenidos se determinó que  $T_0$  oscila entre 0.02 – 0.03 segundos, y  $T_E$  entre 0.09 y 0.11 segundos, con ello se obtuvo que el factor de amplificación para el tipo de vivienda descrito, está en el rango de 3.0 y 3.67, con estos valores se esperaría que el efecto de las fuerzas sísmicas en las viviendas registradas no generen daño estructural que ponga en peligro la vida de sus ocupantes.

**Palabras clave:** instrumentación, amplificación, daño estructural.

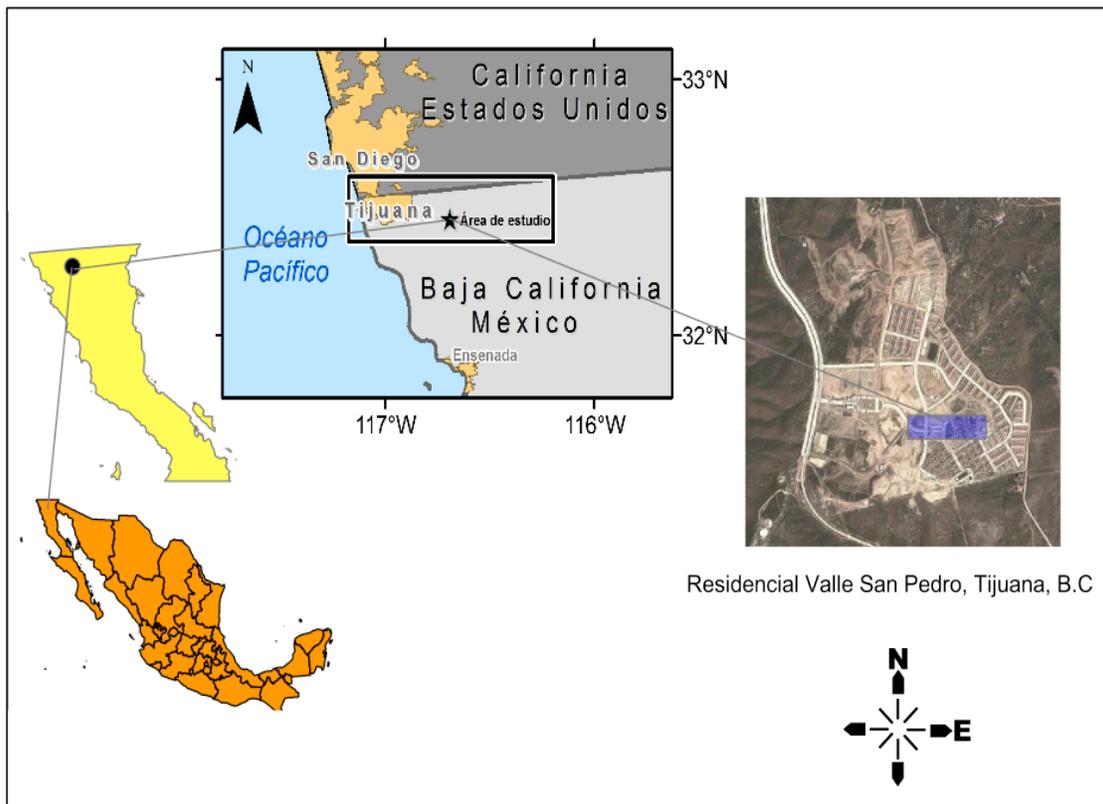
## ABSTRACT

This analysis was performed in houses 1 and 2 levels, built of reinforced concrete, with a building area not more than 72 m<sup>2</sup>, the San Pedro Valley housing development, located in the municipality of Tijuana, Baja California, northwest of Mexico. Since the region is immersed in a tectonically active fault system controlled by transcurrent fault which highlights San Andreas, Imperial, and locally hot water failure, the Nation, Coronado and Vallecitos, it is important to know indicators structural damage to the manifestation of earthquakes, using different methodologies, in this case study was performed by a technique of spectral ratios H / V proposed by Nakamura, considered nondestructive records from ambient vibration of the structure and the site where this wall placed, made with an accelerometer Kinematics K2 brand 3 channel with sensitivity of 200 samples per second. The purpose of the methodology is to determine the Fundamental Period of  $T_E$  and soil structure  $T_0$ , and thus calculate the amplification factor is given by the ratio  $T_E / T_0$ , in current conditions.  $T_0$  the extent that this value approaches 1, is expected to have severe damage to the structure occurs due to the resonance phenomenon. Based on the obtained results it was determined that  $T_0$  ranges from 0.02 to 0.03 sec., And  $T_E$  between 0.09 and 0.11 sec., Thereby obtained that the amplification factor for the type of property described, is in the range of 3.0 and 3.67, these values would be expected that the effect of seismic forces in the homes do not generate structural damage to endanger the lives of its occupants.

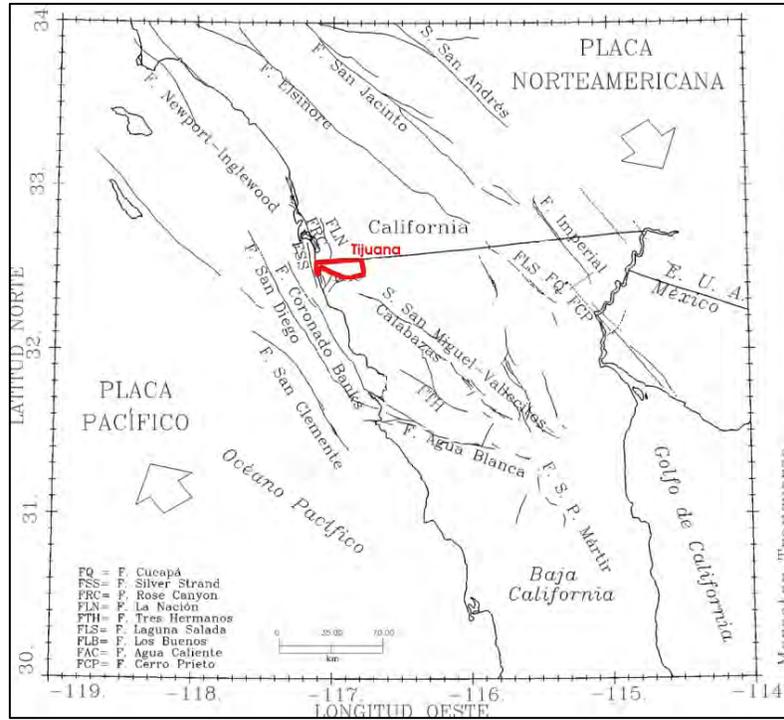
**Keywords:** instrumentation, amplification, structural damage.

## INTRODUCCION

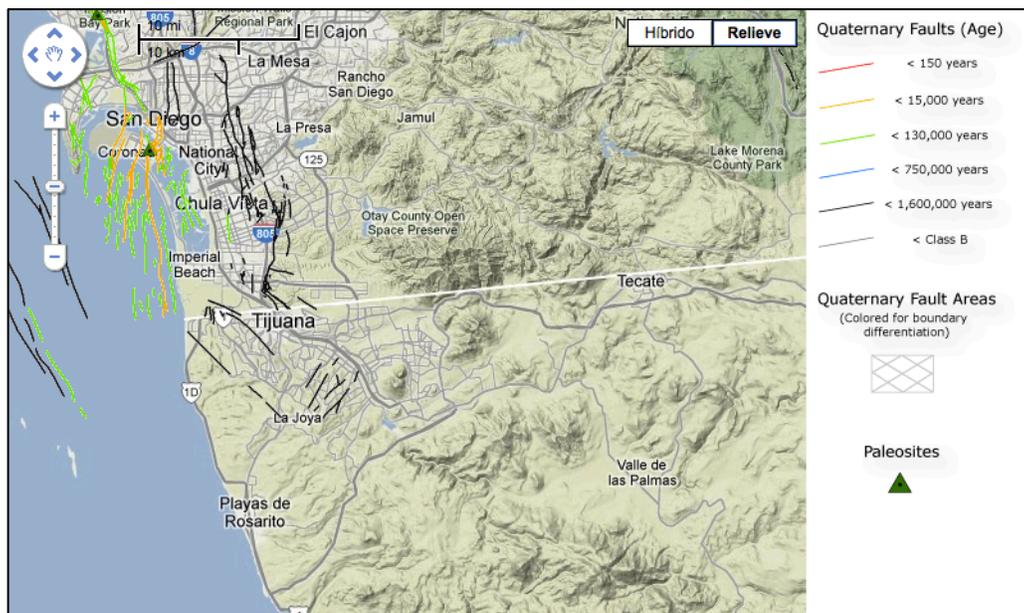
El sitio de estudio se encuentra localizado en el Municipio de Tijuana, Baja California, México, colinda al Norte con San Diego, California, U.S.A., al sur con el Municipio de Playas de Rosarito, al este con el Municipio de Tecate, y al oeste con el Pacífico (Figura 1). El municipio de Tijuana se encuentra inmerso en un marco tectónico muy activo, con un sistema de fallas controlado por la Falla de San Andrés, ubicado al Norte de la Ciudad de Mexicali y localmente por las fallas de Agua caliente, Coronado Banks, La Nación, San Miguel, Vallecitos, Calabazas (Figura 2), con una edad geológica de no más de 2 millones de años, consideradas activas (Figura 3).



**Figura 9** Localización del sitio en estudio.



**Figura 10** Situación sismo tectónica de la Cd. De Tijuana. Los vectores indican la dirección del movimiento relativo de las placas de Norteamericana y del Pacífico, y los sistemas de fallas que se disipan ese movimiento (Acosta Chang, Arellano Zepeda, & Ruiz Cruz, 2009).



**Figura 11** Sistema de fallas en la región Tijuana, B.C. – San Diego, Ca. (Geological Survey U. , 2013).

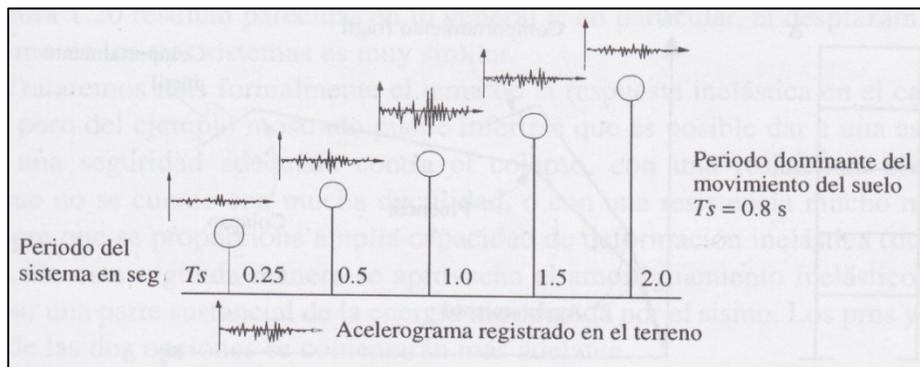
Dado estas condiciones de sismicidad en la región, en el área de ingeniería estructural, en particular en el análisis sísmico, se requiere tener un idea general del comportamiento dinámico de las estructuras ante una manifestación de un sismo. En particular en este estudio nos enfocamos a determinar el Período Fundamental de la estructura  $T_E$  y del suelo  $T_0$  de las viviendas de 1 y 2 niveles, eligiendo una de cada tipo, mediante la técnica de Cocientes espectrales H/V (Nakamura, 1989), la cual se basa en los registros de vibración ambiental mediante un acelerómetro.

El Período Fundamental tanto de la estructura y del suelo, es un parámetro de las propiedades dinámicas en ambos sistemas. En el caso de  $T_0$ , se realizó un levantamiento de registros de vibración ambiental en el Desarrollo habitacional para determinar el  $T_0$  predominante, resultando un valor de 0.03 segundos (González, Hernández, Arroyo, & Hallack, 2012), lo que significa que es un suelo bien consolidado, sedimentado sobre una roca ígnea con un espesor máximo de 80 centímetros. En el caso del  $T_E$  es una propiedad dinámica relacionada con la rigidez  $K$  (ec. 1), directamente vinculada con el módulo de elasticidad  $E$ , momento de inercia  $J$  y longitudes de elementos estructurales  $L$  (Beer & Johnston, 2007),

$$K = \frac{EJ}{L} \quad (1)$$

En la medida que transcurre el tiempo se espera que  $K$  se degrade, debido a las fuerzas externas a las que se expone el sistema. Dado lo anterior determinar el  $T_E$ , tiene como propósitos valorar la pérdida de rigidez, además de que en los análisis de sísmicos, es un parámetro base para la determinación de las fuerzas sísmicas que actúan en la estructura (Bazan & Meli, 2010).

El objetivo de determinar el factor de amplificación de la respuesta ante la sollicitación de fuerzas sísmicas dado por el cociente  $FA = \frac{T_E}{T_0}$ , es valorar la proximidad del cociente a la unidad, dado que entre más cercano a la *Unidad* mayor es la respuesta entre los dos sistemas (Bazan & Meli, 2010), en la figura 4, se observa el comportamiento de este factor,



**Figura 12** Amplificación de la respuesta de los sistemas, con diferente período fundamental de vibrar (Bazan & Meli, 2010).

## METODOLOGIA

La estimación de los períodos fundamentales de vibrar  $T_E$  y  $T_0$  está en función de los registros de vibración ambiental, espectros de Fourier y las funciones de transferencia, y la metodología de Cocientes espectrales H/V (Nakamura, 1989). En este análisis se seleccionaron 2 viviendas de uno y dos niveles, los registros de vibración ambiental se obtuvieron de los centros de cada entresuelo o azotea de las viviendas.

Para el trazo de las funciones de transferencia dadas por la razón entre el espectro de amplitudes de Fourier horizontales lateral (L) o transversal (T) y la vertical (V), el procedimiento consta de las siguientes etapas,

a. Los registros de vibración ambiental obtenidos con un acelerómetro marca Kinometrics<sup>®</sup> K2 Altus, compuesto por una grabadora y sensor triaxial (figura 5), el cual se coloca directamente sobre el terreno, orientando la dirección X del sensor hacia el norte en todos los puntos; además de la comunicación entre la grabadora y la computadora a través del software Quicktalk y Quicklook de Kinometrics<sup>®</sup>.

b. El procesamiento de registros inicia con la conversión de los archivos obtenidos de la instrumentación con extensión EVT en formato binario, mediante el programa KW2ACS.exe de Kinometrics<sup>®</sup>, estos se convierten a un lenguaje binario a ASCII.

c. Una vez convertidos los archivos en formato ASCII se emplea el software Degtra A4 versión 5.1 (Ordaz, et al, 2005) figura 6, para graficar los registros acelerográficos en las direcciones lateral (L), transversal (T), y vertical (V), reflejados en gráficas senoidales en dos dimensiones, en donde, en el eje horizontal los tiempos de registros están dados en segundos y en el eje vertical la amplitud, con las cuales se obtienen los espectros de Fourier (envolvente de gráficas senoidales), los datos de entrada (DT) son de cero líneas y doscientas muestras por segundo, ecuación 2,

$$DT = \frac{1}{200} = 0.005 \quad (2)$$

Para la obtención de los espectros de Fourier de los registros se analizan intervalos de tiempo de 10 segundos, con el fin de obtener un espectro de Fourier promedio por cada una de las direcciones involucradas. En total se realiza el análisis de diez intervalos de diez segundos por cada uno de los registros por cada dirección L y T, figura 7.

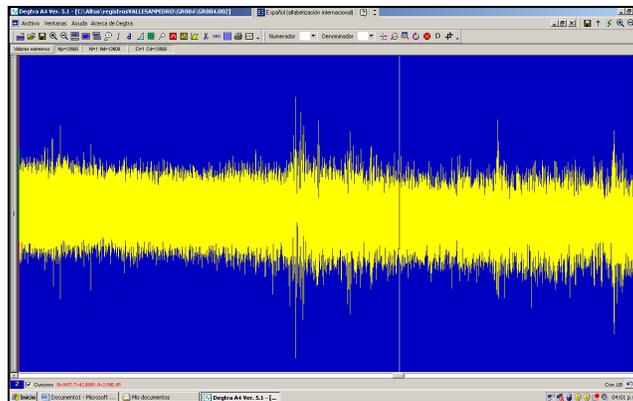
De acuerdo con Arroyo et al., 2010, la técnica de Nakamura no hace uso de una estación de referencia, se calculan los cocientes espectrales de las componentes horizontales respecto a la componente vertical, permitiendo obtener el período

fundamental aproximado del suelo, además de que supone que la razón de espectro de amplitudes horizontal de Fourier ( $S_{HS}$ ) y espectro de amplitudes vertical de Fourier ( $S_{VS}$ ) ó razón espectral, corresponde a la función de transferencia de los niveles superficiales sometidos a movimientos horizontales; de donde, se establece la ecuación de la función de transferencia modificada ( $S_M$ ) de Nakamura expresada en la ecuación 3.

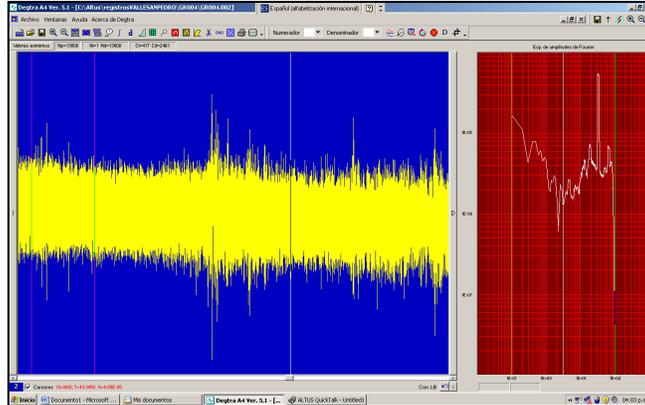
$$S_M = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (3)$$



**Figura 13** Acelerómetro, compuesto por grabadora y sensor triaxial



**Figura 14** Registro acelerográfico visto en Degtra A4, versión 5.1



**Figura 15** Espectro de Fourier, generado con un intervalo de tiempo de 10 segundos

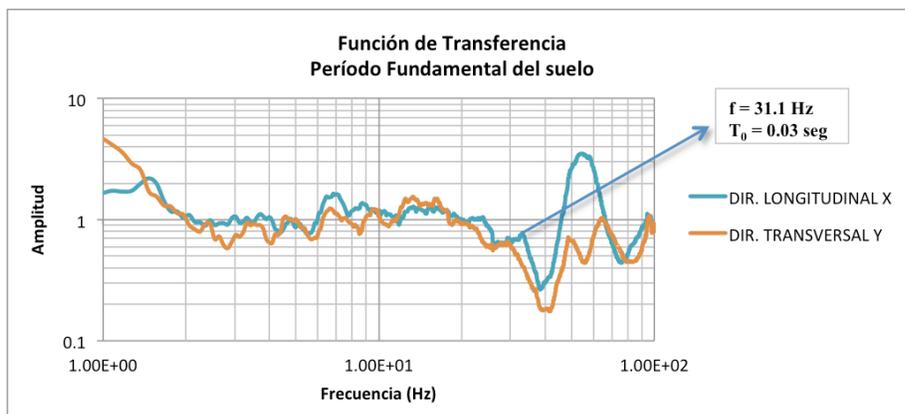
La determinación del período fundamental de vibrar se logra a partir de las funciones de transferencia, donde se analiza el período característico, que no necesariamente es el de amplitud mayor, su localización más bien está relacionada con una amplitud bien definida y variaciones de cresta en la gráfica de la función. La relación período ( $T_{E\delta S}$ ) y frecuencia ( $f$ , en hertz), dado por la ecuación 4,

$$T_{E\delta S} = \frac{1}{f} \tag{4}$$

## RESULTADOS

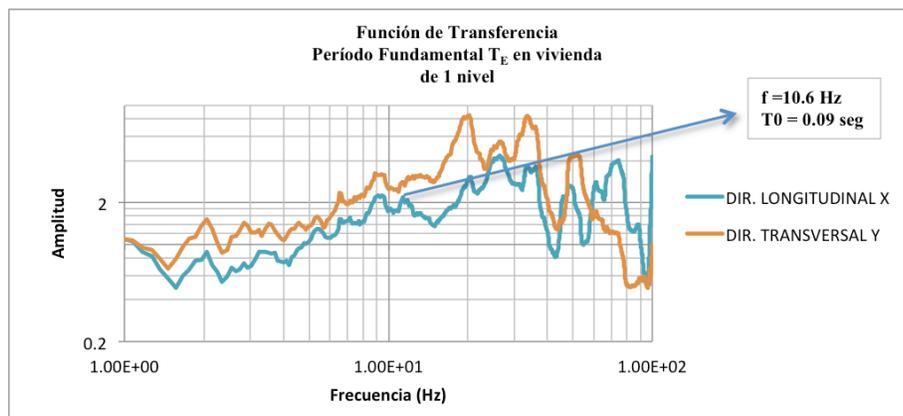
Se presentan las funciones de transferencia utilizadas para obtener el Período Fundamental del suelo  $T_0$ , y de la estructura  $T_E$ .

El  $T_0$  determinado para el sitio donde están desplantadas las viviendas es de 0.03 segundos (figura 8).

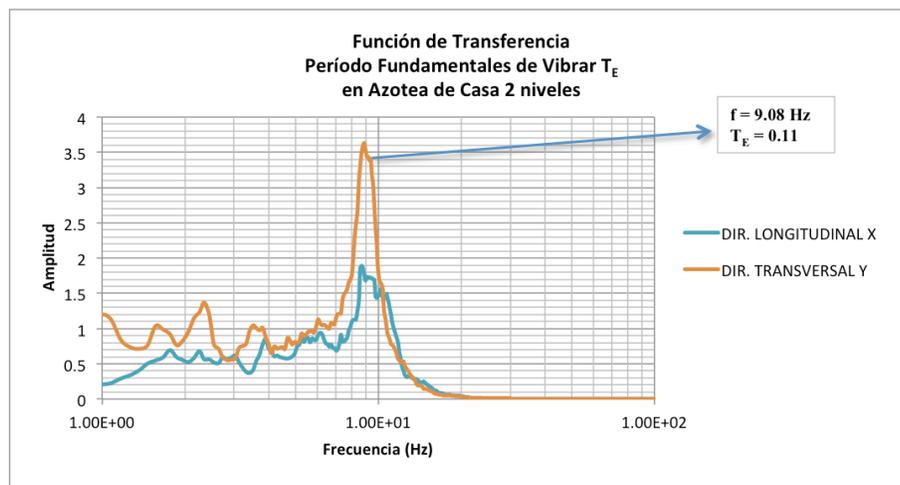


**Figura 16** Período fundamental del suelo, y la función de transferencia de donde fue obtenido.

El  $T_E$  obtenido para la vivienda de 1 nivel y dos niveles es 0.09 segundos y 0.11 segundos respectivamente (figura 9 y 10),



**Figura 17** Período Fundamental de la estructura de la vivienda de 1 nivel.



**Figura 18** Período Fundamental de la estructura de la vivienda de 2 niveles.

## DISCUSIONES

Una vez conocidos los períodos  $T_E$  en cada tipo de estructuras y  $T_0$  del suelo del sitio donde están desplantadas las viviendas, podemos determinar el FA para cada una de las viviendas, el cual está dado,

1. Vivienda de 1 nivel  $FA = \frac{0.09}{0.03} = 3$
2. Vivienda de 2 niveles  $FA = \frac{0.11}{0.03} = 3.67$

Con base en la figura número 4, las viviendas analizadas presentan un factor de amplificación distante 1.0, que en un momento dado ante la manifestación de un sismo cada una de los cocientes se esperarían distarían más de la Unidad.

Dado que determinar la amplificación esperada del suelo y de las estructuras ante la sollicitación de fuerzas sísmicas, se aloja en área de incertidumbre, conviene para un análisis de lo que se esperarían del comportamiento dinámico tanto del suelo como de la estructura hacer esta determinación que se presenta en este documento.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Ingeniería y Tecnología, Unidad Valle de las Palmas, de la Universidad Autónoma de Baja California por las facilidades para el desarrollo de las actividades que implicó este análisis. Al Servicio Sismológico nacional del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México por el préstamo del acelerómetro para el registro de vibración ambiental.

## BIBLIOGRAFIA

- Acosta Chang, J., Arellano Zepeda, G., & Ruiz Cruz, E. (2009). Microzonación sísmica en la zona urbana de Tijuana, B.C. *Dirección de Protección Civil Estatal de Baja California, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada*. Tijuana, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Arroyo, R., Sánchez, S., Guinto, E., Salgado, A., Corona, J., & Vargas, A. (2010). Estudio de las características físicas y de vibración ambiental de la vivienda guerrerense de adobe. *Vol. I, Primera edición ed.* (R. Arroyo, Ed.) Chilpancingo, Guerrero, México.

- Bazan, M., & R, M. (2010). Diseño Sísmico de edificios. *Vol. 12.1*. México, Distrito Federal, México: Limusa.
- Beer, F., & Johnston, R. (2007). Mecánica de Materiales. En M. A. Castellanos. (Ed.). México, D.F: S. d. McGraw-Hill / Interamericana Editores, Ed., & J. L. Jesús Elmer Murrieta Murrieta, Trans.
- Geological Survey, U. (28 de August de 2013). *www.usgs.gov*. (U. Geological Survey, Editor, U. D. Interior, Productor, & U.S Geological Survey) Recuperado el 29 de September de 2013, de *geohazards.usgs.gov/qfaults/map.php*: <http://geohazards.usgs.gov/qfaults/map.php>
- González, M., Hernández, T., Arroyo, R., & Hallack, M. (02 de 11 de 2012). Determinación de Períodos Fundamentales de vibrar en la zona habitacional Valle San Pedro, del Municipio de Tijuana, B.C. *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. S. M. Estructural, Ed.
- Nakamura, Y. (31 de march de 1989). A method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), 25-33.
- Ordaz, M., Castellanos, F., & Zapata, A. (2005). Manual de uso del Programa Degtra A4. (L. Fernando., Ed.) México, D.F: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería.
- Rosquillas Navarro, A., & Mendoza Garcilazo, L. (2001). Herramientas de Evaluación de Riesgo para Diagnóstico de Areas Urbanas contra Desastres Sísmicos. . *Proyecto Radius, Caso Tijuana*. Tijuana, México: H. Ayuntamiento de Tijuana.

**F.3.P. Efectos del uso de la tierra y de la población sobre la  
calidad del agua superficial en la cuenca alta del Sis Iacán,  
Guatemala**  
**Effects of land use and population on surface water quality at  
the upper basin of Sis Ican, Guatemala**

Milton Leonel Chán Santisteban<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Profesor Titular del Centro Universitario del Sur Occidente, Universidad de San Carlos;  
Guatemala.*

Teléfono: (502) 78726295, correo electrónico: [miltonchan80@hotmail.com](mailto:miltonchan80@hotmail.com)

## **RESUMEN**

El uso de la tierra así como el tamaño de las poblaciones que habitan las cuencas inciden en la calidad del agua que drenan, por lo que es importante analizar estas relaciones para orientar el manejo de sus territorios y así mejorar la gestión del recurso hídrico.

Con éste fin se seleccionaron tres microcuencas de la cuenca alta del Sis Iacán, de la vertiente del Pacífico de Guatemala. Dos de los ríos observados se utilizan para el abastecimiento de municipios y el tercero tiene potencial para ese propósito.

La calidad del agua se evaluó en dos puntos de cada río, uno ubicado en la cabecera y otro en la desembocadura, durante un año. Las variables medidas fueron las siguientes: pH, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbiedad, nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, cloro, manganeso, dureza, coliformes totales y coliformes fecales.

Por otro lado se caracterizaron las cuencas de drenaje de cada punto de muestreo en relación al uso de la tierra y tamaño de la población para ello se midieron los porcentajes de cobertura de: bosque, cultivos permanentes y semipermanentes, pastizales y poblados a lo que se agregó el tamaño de la población.

Para cada grupo de datos se aplicaron análisis de conglomerados y de componentes principales, cuyos resultados se compararon para analizar los comportamientos de la calidad del agua.

Se concluye que las aguas de mejor calidad se asocian a áreas con cobertura de bosque y cultivos permanentes, mientras que las aguas más afectadas en su calidad se asocian con áreas cubiertas con cultivos limpios, pastizales, poblados, cultivos semipermanentes y poblaciones.

**Palabras clave:** Uso de la tierra, población, calidad del agua, Sis Icán.

## ABSTRACT

The land use and the size of the populations living in watersheds affect water quality draining, so it is important to analyze these relationships to guide management of their lands and improve water resource management.

With this purpose they were selected three watersheds of the upper basin of Sis Icán, on the Pacific coast of Guatemala. Two of the rivers are used for municipal supply and the third has the potential for it. In the watersheds of these rivers there are agricultural and livestock activities, also there are urban and rural populations.

Water quality was evaluated at two points of each river, one located in the head and one at the mouth, for one year. The variables measured were: pH, dissolved oxygen, dissolved oxygen percentage, electrical conductivity, turbidity, nitrates, nitrites, sulfates, iron, chlorine, manganese, hardness, total coliforms and fecal coliforms.

On the other hand were characterized drainage basins each sampling point in relation to land use and population size were measured for this coverage percentages: forest, permanent and semi-permanent crops, pastures and towns to what is added population size.

For each data set were applied cluster and principal components analysis, the results were compared to analyze the behavior of water quality.

It was conclude that higher quality waters are associated with forest coverage areas and permanent crops, while the waters most affected in their quality are associated with areas covered with clean crops, pastures, villages, and towns semipermanent crops. We conclude that higher quality waters are associated with forest coverage areas and permanent crops, while the waters most affected in their quality are associated with areas covered with clean crops, pastures, towns, semipermanent crops and population size.

**Keywords:** Land use, population, water quality, Sis Ican.

## INTRODUCCION

En diferentes países se han realizado esfuerzos para identificar la relación entre uso de la tierra y la contaminación del agua, una muestra de ello son los trabajos realizados por: Fisher, et al (2000), Ometo, et al (2000), Pan, et al (2004), Vanzela, et al (2010). En

éstos estudios se han aplicado métodos de información geográfica y de caracterización de la calidad del agua.

Según Tyller (2007) el origen de la contaminación del recurso hídrico procede de actividades antrópicas y de procesos naturales.

En Guatemala el IARNA (2006), atribuye a las descargas de los desagües de centros poblados el aporte de sedimentos y contaminación biológica a las corrientes superficiales por otro lado Fisher, et al (2002) encontraron que la contaminación con coliformes es efecto de la actividad pecuaria en la cuenca del río Oconee en Georgia; Pan, et al (2004) encontraron relación entre nutrientes y la actividad agrícola en Willamete, Oregón y Vanzela, et al (2010) le atribuyen la reducción de la calidad del agua a la agricultura en la cuenca Tres Barras, Marinópolis, Sao Pablo.

De acuerdo con Quentin, et al (2003) el reparto espacial de datos, puede establecer una relación entre calidad del agua, salud y otros parámetros explicativos naturales o de carácter antrópico. Por otro lado Herrera, et al (2009) utilizaron métodos de análisis multivariantes que les permitieron clasificar las aguas por su calidad en la cuenca del río Bermúdez, Heredia, Costa Rica. Estos criterios se aplicaron para analizar la relación entre el uso de la tierra y población con la calidad del agua superficial en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala.

## METODOLOGIA

Se seleccionaron las microcuencas de los ríos: Chitá, Ixconá-Sis y Sacobá, que se localizan en la cuenca alta del río Sis Icán, en la vertiente del Pacífico de Guatemala entre las coordenadas: 14° 30'29" y 14° 41'23" latitud norte y 91° 28'56" y 91° 31'58" longitud oeste. Con base a las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística (sf) en el área del estudio, para el año 2012, habitaban 23,493 personas y otras 94,257 vivían aguas abajo.

En cada río se establecieron dos puntos de muestreo, uno ubicado en la cabecera y otro en la desembocadura. El monitoreo de los ríos se efectuó entre febrero de 2012 y enero de 2013, con muestreos mensuales en cada punto a excepción del mes de agosto de 2012.

Se realizaron análisis físicos, químicos y microbiológicos para valorar la calidad del agua. Los parámetros medidos fueron: pH, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbiedad, nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, cloro, manganeso, dureza, coliformes totales y coliformes fecales. El pH, oxígeno disuelto, porcentaje de oxígeno disuelto y conductividad eléctrica se midieron in situ por medio de laboratorio portátil con sondas específicas, la turbidez se midió con nefelómetro, los parámetros químicos se midieron por medio de análisis espectrofotométrico a

excepción de la dureza que se midió por el método de titulación EDTA. Para los análisis microbiológicos se aplicó la metodología de la membrana filtrante (Clesceri, 1998).

Se calcularon los promedios aritméticos y límites de confianza al 95% para los parámetros de físicos y químicos de la calidad del agua y la media geométrica para los parámetros microbiológicos para cada punto de muestreo.

Por otro lado se caracterizó el uso de la tierra en la cuenca de drenaje de cada punto de muestreo. Para el efecto se hizo un análisis de fotogrametría y fotointerpretación con el uso de la ortofoto escala 1:10,000 (MAGA, 2006), para delimitar áreas con texturas similares. Para actualizar el uso de la tierra se realizaron expediciones en las que se identificaron las coberturas existentes en el campo y se registraron sus ubicaciones. Con estos datos se hizo el análisis de imágenes satelitales de 90 m<sup>2</sup> por pixel del año 2012, con lo que se verificó y actualizó el uso de la tierra. Se identificaron las siguientes categorías: bosque, cultivos permanentes, cultivos semipermanentes, pastizales y poblados.

Para estimar el tamaño de la población se identificaron los poblados asentados en cada microcuenca, luego, se investigó la proyección de población por municipio de los centros poblados identificados (INE, sf) y se realizó un reparto proporcional de acuerdo a los datos obtenidos en el censo poblacional del año 2002 ( Instituto Nacional de Estadística, 2002).

Los grupos de datos conformados por las medias de los parámetros de calidad del agua por un lado y categorías de uso de la tierra en porcentajes y población por el otro; se estandarizaron, luego se efectuaron análisis de componentes principales con rotación por el método Normalización Varimax con Kaiser y de conglomerados jerárquicos por el método Ward con distancia Euclidiana al cuadrado para identificar las variables de importancia de cada serie, clasificar las aguas y las cuencas de drenaje. Con los resultados obtenidos se hizo un análisis comparativo.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

En el cuadro 1 se distinguen diferencias en las características de calidad de agua, uso de la tierra y poblaciones de cada área de drenaje evaluada, sin embargo los análisis multivariantes revelan mayores detalles.

El análisis de componentes principales para los parámetros de calidad del agua (cuadro 2) muestra la existencia de tres componentes principales que explican el 93 % de la variabilidad: el primer componente tiene alta correlación con la turbidez, porcentaje de oxígeno disuelto, concentraciones de nitritos, cloro, coliformes totales y coliformes fecales; variables relacionadas con la contaminación orgánica y fecal originaria de poblaciones humanas y de actividad pecuaria. El segundo componente tiene alta correlación con la conductividad eléctrica, concentraciones de nitratos, sulfatos,

manganeso y dureza; variables que pueden relacionarse con la actividad agrícola de la zona. El tercer componente se correlaciona con el pH y concentraciones de oxígeno disuelto y hierro.

Al efectuar el análisis de componentes principales para las variables de uso de la tierra y de población (cuadro 3) se encontró la conformación de tres componentes que explican el 97% de la variabilidad. El primer componente se encuentra correlacionado con los usos de pastizales y cultivos limpios, usos que diferencian las áreas de drenaje de las cabeceras con las de las desembocaduras. El segundo componente se correlaciona con cultivos semipermanentes, poblados y población. El tercer componente principal se ve dominada por los usos de bosque y cultivos permanentes, cuyos valores relativos son mayores en las cabeceras de las cuencas de los tres ríos.

Al comparar la conformación de los componentes principales de las dos series de datos se nota que el primero y segundo componente principal del uso de la tierra y población se relaciona en forma directa con el primer componente principal de la calidad del agua ya que a los usos de pastizales y poblados así como al tamaño de las poblaciones se les puede atribuir la contaminación coliforme, coliforme fecal, nitritos, cloro y turbidez. Los tres componentes principales consideran cultivos, en el primero cultivos limpios, en el segundo cultivos semipermanentes y en el tercero cultivos permanentes, todos ellos se pueden relacionar con el segundo componente principal de calidad del agua cuyas variables de mayor correlación corresponden a sales y nutrientes.

El análisis de conglomerados jerárquicos de los parámetros de calidad del agua (figura 1A) separa dos grupos grandes que corresponden a los puntos de muestreo de las cabeceras de los tres ríos por un lado y los ubicados en las desembocaduras por el otro, éstos difieren en características físicas químicas y microbiológicas, ya que los puntos de las cabeceras presentan promedios menores en turbidez, pH, nitratos, nitritos, sulfatos, hierro, manganeso, dureza, coliformes totales y fecales. Entre los puntos de muestreo de las cabeceras se distingue el del río Chitá con valores menores de coliformes totales y de coliformes fecales en comparación con los otros dos y entre los puntos de las desembocaduras se distingue la calidad del agua del río Sacobá que muestra valores menores de nitritos, coliformes totales y de coliformes fecales.

El mismo análisis aplicado a las características de uso de la tierra y población de las áreas de drenaje (figura 1B), agrupa a las cuencas de las cabeceras por un lado y a las cuencas de las desembocaduras por el otro, pues en las cuencas altas predominan los cultivos permanentes y bosque mientras que en las cuencas de las desembocaduras aparecen otros usos como: cultivos anuales, cultivos semipermanentes, pastos y poblados. Entre las cuencas altas se separa la del Chitá, que es la única que presenta alta proporción de bosque (59%) y entre las cuencas de las desembocaduras se distingue la cuenca del río Sacobá, que en relación a las otras dos, presenta mayor proporción de pastizales y menor población.

Si se comparan las agrupaciones formadas en los dos análisis de conglomerados, se nota la coincidencia la cuenca de drenaje con mayor proporción de bosque con el agua de mejor calidad (cabecera del Chitá); en las cabeceras del Ixconá-Sis y del Sacobá, en las que predominan los cultivos permanentes, la calidad del agua es menor que la del

Chitá pero mejor que todos los puntos ubicados en las respectivas desembocaduras, esto puede deberse a que la actividad humana se incrementa debido a la predominancia de cultivos permanentes y que a diferencia de la cuenca alta del Chitá no existen áreas importantes de bosque lo que se refleja en el incremento de concentraciones de coliformes y totales y fecales.

Los puntos con mayor contaminación son los de las desembocaduras, en cuyas cuencas las proporciones de pastizales, cultivos anuales, poblados y tamaños de población difieren de las áreas de drenaje de las cabeceras. Entre éstos se distinguen los que corresponden a las desembocaduras de los ríos Chitá e Ixconá-Sis, que son aguas de menor calidad física, química y microbiológica y poseen áreas de drenaje en dónde se asientan las mayores poblaciones y las proporciones de cultivos anuales son mayores lo que supone la mayor actividad antrópica en el área de estudio.

## **CONCLUSION**

Se concluye que en la cuenca alta del Sis Icán las aguas de mejor calidad se asocian a áreas con mayor cobertura de bosque y cultivos permanentes, mientras que las aguas de menor calidad se asocian con áreas cubiertas con mayor proporción de cultivos anuales, cultivos semipermanentes, pastizales, poblados, cultivos semipermanentes y poblaciones mayores.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala (SENACYT) por el financiamiento, al Centro Universitario del Sur Occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala por el respaldo al proyecto de investigación y a la Cooperación de los Países Bajos por el apoyo en las primeras etapas de la investigación a través del proyecto FIGAL.

Este artículo forma parte del tema de tesis del candidato a doctor Milton Leonel Chán Santisteban en el Programa de Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo (DOCINADE).

## BIBLIOGRAFÍA

- Clesceri, L. (1998). Standard methods for the examination of water and waste water. United States: American Public Health Association.
- Fisher, D. (2000). The relationship of land uses practices to surface water quality in the upper Oconee watershed of Georgia. . *Forest ecology and management.*, 128, 39-48.
- Herrera Murillo, J. (22 (4), 75-85.). Aplicación de técnicas quimiométricas para clasificar la calidad del agua superficial de la microcuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 2009.
- IARNA, I. d. (2006). Perfil ambiental de Guatemala 2006. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- INE, (. N. (2002). *Censo INE 2002 por lugar poblado. Guatemala*. Recuperado el 18 de 09 de 2012, de [http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=269](http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=269)
- INE, (. N. (s.f.). *Guatemala: estimaciones de población total por municipio período 2008-2020. Formato xls.* . Obtenido de <http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/>
- MAGA, (. d. (2006). *Ortofotos 2006. Guatemala.* . Recuperado el 10 de 09 de 2012, de [http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=267](http://www.segeplan.gob.gt/2.0/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=267)
- Ometo, J. (2000). Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south east Brazil. . *Freshwater biology*, 44, 327-337. .
- Pan, Y. (2004). Linkages among land use, water quality, physical habitat conditions and lotid diatom assemblages: A multispatial scale assessment. . *Hydrobiologia*, 515, 59-73.
- Quentin, E. (2003). Geomática aplicada a la relación entre la calidad del agua y salud humana en las localidades del estado de México. *México, Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua y Centro Interamericano de Recursos del Agua*. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.
- Tyller Miller, G. (2007). Ciencia ambiental, desarrollo sostenible un enfoque integral. México: Thomson.
- Vanzela, L. (2010). Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14 (1), 55-64.

## ANEXOS

**Cuadro 1** Promedio de parámetros de calidad del agua con límites de confianza al 95%, uso de la tierra y población por área de drenaje de puntos de muestreo en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala.

Variable	Ch-1	Ch-2	IS-1	IS-2	S-1	S-2
Turbiedad (UNT)	2,95 ± 1,65	4,74 ± 1,52	5,32 ± 2,60	6,23 ± 2,96	3,59 ± 1,12	4,10 ± 1,40
pH	7,51 ± 0,13	7,77 ± 0,12	7,46 ± 0,17	7,77 ± 0,14	7,53 ± 0,16	8,01 ± 0,13
OD (mg l <sup>-1</sup> )	7,85 ± 0,14	7,33 ± 0,09	7,48 ± 0,19	7,34 ± 0,23	7,62 ± 0,18	7,28 ± 0,19
OD (%)	96,7 ± 0,7	95,3 ± 0,7	94,0 ± 1,7	94,7 ± 1,9	95,3 ± 1,6	95,9 ± 1,86
cE (μS cm <sup>-1</sup> )	6,70 ± 0,38	9,35 ± 0,38	5,23 ± 0,46	7,28 ± 0,42	6,33 ± 0,47	6,94 ± 0,44
NO <sub>3</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	1,86 ± 1,02	1,80 ± 0,78	1,38 ± 1,33	1,58 ± 1,12	1,28 ± 0,93	1,56 ± 1,06
NO <sub>2</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	0,006 ± 0,003	0,024 ± 0,011	0,008 ± 0,002	0,021 ± 0,008	0,008 ± 0,004	0,009 ± 0,004
SO <sub>4</sub> (mg l <sup>-1</sup> )	61,09 ± 52,22	52,00 ± 50,75	32,46 ± 27,77	57,18 ± 50,32	48,55 ± 40,25	60,36 ± 58,28
Fe (mg l <sup>-1</sup> )	0,05 ± 0,04	0,16 ± 0,16	0,05 ± 0,04	0,10 ± 0,05	0,04 ± 0,03	0,13 ± 0,07
Cl (mg l <sup>-1</sup> )	0,06 ± 0,05	0,09 ± 0,05	0,06 ± 0,03	0,08 ± 0,06	0,06 ± 0,05	0,07 ± 0,04
Mn (mg l <sup>-1</sup> )	0,20 ± 0,08	0,22 ± 0,09	0,25 ± 0,10	0,23 ± 0,09	0,25 ± 0,10	0,23 ± 0,11
Dureza (mg l <sup>-1</sup> )	46,82 ± 10,46	52,09 ± 9,78	34,46 ± 5,03	50,64 ± 7,98	35,55 ± 4,47	49,27 ± 8,94
C. T. UFC (100 ml) <sup>-1</sup>	21,09 ± 10,74	527,64 ± 4,10	484,59 ± 2,96	971,55 ± 1,95	122,87 ± 9,43	319,26 ± 7,62
C.F. UFC (100 ml) <sup>-1</sup>	5,10 ± 3,66	86,34 ± 3,06	74,20 ± 1,91	151,45 ± 1,52	19,28 ± 4,65	50,06 ± 4,38
Bosque (%)	59,48	10,26	1,35	0,48	0,00	0,00
C. Permanentes (%)	40,52	71,73	98,65	74,76	100,00	55,51
C. Semipermanentes (%)	0,00	2,98	0,00	0,76	0,00	1,49
Cultivos anuales (%)	0,00	1,68	0,00	2,36	0,00	0,00
Pastizales (%)	0,00	8,39	0,00	18,29	0,00	37,86
Poblados (%)	0,00	4,95	0,00	3,34	0,00	5,14
Población (habitantes)	0	7735	0	9326	213	6371

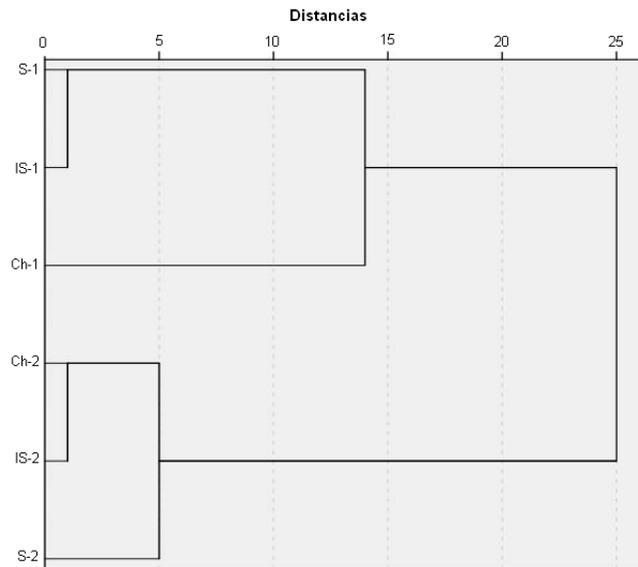
Notas: Ch= Río Chitá, IS = Río Ixconá Sis, S= Río Sacobá.  
1 = Cabecera, 2= Desembocadura.

**Cuadro 2** Matriz de componentes principales para parámetros de calidad del agua en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala.

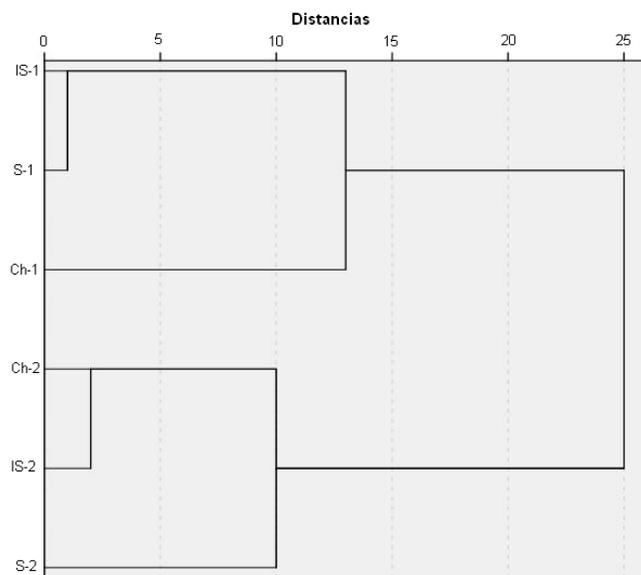
Variable	Componente		
	1	2	3
Turbiedad	0,936	-0,246	0,129
pH	0,108	0,201	0,956
Oxígeno disuelto	-0,572	0,207	-0,783
Porcentaje de oxígeno disuelto	-0,722	0,670	0,127
Conductividad eléctrica	0,316	0,698	0,460
Nitratos	0,018	0,947	0,030
Nitritos	0,820	0,379	0,306
Sulfatos	-0,286	0,722	0,419
Hierro	0,356	0,361	0,800
Cloro	0,687	0,573	0,405
Manganeso	0,214	-0,954	0,095
Dureza	0,252	0,788	0,535
Coliformes totales	0,940	-0,040	0,223
Coliformes fecales	0,944	-0,011	0,231
Varianza explicada (%)	36,25	33,10	23,16
Valor de Eigen	5,07	4,63	3,24

**Cuadro 3** Matriz de componentes principales para el uso de la tierra y población en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala.

Variable	Componente		
	1	2	3
Bosque	-0,344	-0,229	-0,909
Cultivo Permanente	-0,423	-0,052	0,900
Cultivo Semipermanente	0,200	0,888	-0,095
Pasto	0,951	0,285	0,005
Cultivo Limpio	0,973	0,051	-0,052
Poblados	-0,085	0,887	0,326
Población	0,509	0,794	0,044
Varianza explicada (%)	35,08	33,50	25,09
Valor de Eigen	2,46	2,35	1,75



**A**



**B**

**Figura 19** Dendrogramas obtenido a través de análisis conglomerados aplicado a: A. parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad del agua. B. uso de la tierra y población, en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala.

Notas: Ch= Río Chitá, IS = Río Ixconá Sis, S= Río Sacobá.  
1 = Cabecera, 2= Desembocadura.

## **F.4.P. Variación estacional de la estabilidad de agregados y grado de humectación de un andisol con distintos manejos agrícolas**

### **Seasonal variability of aggregate stability and wettability of an andisol under different land uses**

Juan Carlos Ramírez Flores<sup>1,2</sup>, Felipe Gallardo Arriagada<sup>1,2</sup>, Jörg Bachmann<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químicas y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración. <sup>2</sup>BIOREN (Scientific and Technological Bioresource Nucleus). Universidad de La Frontera, Av. Francisco Salazar 01145, Temuco, Chile. Teléfono: 56-45-2325424. Correo electrónico: [juan.ramirez@ufrontera.cl](mailto:juan.ramirez@ufrontera.cl), [felipe.gallardo@ufrontera.cl](mailto:felipe.gallardo@ufrontera.cl)

<sup>3</sup>Institut für Bodenkunde, Leibniz Universität Hannover, Deutschland. Herrenhäuser Str. 2 - 30419 Hannover. Teléfono: 49-0511-7623672. Correo electrónico: [bachmann@ifbk.uni-hannover.de](mailto:bachmann@ifbk.uni-hannover.de)

## **RESUMEN**

Los suelos del sur de Chile son principalmente del orden Andisol. En sectores específicos es posible encontrar los llamados suelos ñadi (placaquand), suelos volcánicos caracterizados por un estrato delgado impermeable que confiere condiciones extremas de humedad durante el año. Si bien estos suelos no resultan adecuados para la agricultura, se fomenta su drenaje y utilización agrícola. En este trabajo se evalúa la variación mensual de dos indicadores de estabilidad física relacionados al contenido de humedad: estabilidad de agregados y humectación. Muestras de un suelo ñadi (0-10 cm) se colectaron durante 13 meses. Las muestras corresponden a bosque relicto (F), pradera de *Lolium perenne* (L-0), pradera de *L. perenne* con enmienda orgánica (L-30) y pradera de *Trifolium perenne* (Pr). La estabilidad de agregados se evaluó con los métodos de Humectación Rápida y Humectación Lenta. Muestras no disturbadas fueron utilizadas para determinar la humectación con el Método de Tiempo de Infiltración (WDPT). La estabilidad de agregados mostró una variación estacional coincidente con los cambios de contenido de humedad. La estabilidad de agregados aumenta hasta cerca de 90% de mayo a septiembre, disminuyendo hasta cerca de 55% de junio a septiembre, especialmente en Pr, que corresponde a una situación degradada (compactación y bajo contenido de materia orgánica). La humectación mostró que este suelo permanece humectable la mayor parte del año, con una reducción significativa de la humectación en F y L-30 en verano, las que son las situaciones con mayor contenido de materia orgánica. Se concluye que la estabilidad física del suelo ñadi se ve afectada significativamente por el contenido de humedad, sin embargo, esto puede ser

compensado con medidas de manejo que permitan aumentar el contenido de materia orgánica en el horizonte superficial. Al mismo tiempo, el grado de humectación no resulta ser un buen indicador de estabilidad física de este tipo de suelo.

**Palabras clave:** contenido de humedad / material orgánica / ñadi

## ABSTRACT

The soils of southern Chile correspond mainly to the Andisol order (volcanic origin). In some of these areas is possible to find the so-called ñadi soils (placaquand), volcanic soils characterized by having a thin waterproof layer, which leads to extreme humidity conditions of topsoil along the year. Even when this soil type is not suitable for agriculture, its drainage and use for agricultural purposes is encouraged by different organizations. We evaluated the monthly variation of two physical stability indicators related to the soil water content: aggregate stability and wettability. Topsoil samples (0-10 cm) of a ñadi soil were collected during 13 months. We evaluated four different situations: relict forest (F), *Lolium perenne* prairie (L-0), *L. perenne* prairie with sludge addition and *Trifolium perenne* prairie (Pr). Aggregate stability was evaluated by Fast wetting and Slow wetting methods. Undisturbed samples were used to evaluate wetting by Water Drop Penetration Time (WDPT). Aggregate stability showed a clear seasonal pattern, according to water content variation. It was observed that aggregate stability increases up to near 90% in summer, decreasing up to 55% during winter months, especially in Pr, which corresponds to a degraded situation (high bulk density and low organic matter content). In near all cases, this soil type remains wettable along the year, excepting F and L-30, which show a relatively lower wettability during summer. Both situations have higher organic matter amounts in relation to L-0 and Pr. It is concluded that physical stability of ñadi soil is affected significantly by water content, nevertheless, its stability can be improved by applying management procedures favoring a higher organic matter content of topsoil. At the same time, wettability is not a suitable indicator of physical stability of this soil type.

**Keywords:** water content / organic matter / ñadi

## INTRODUCCION

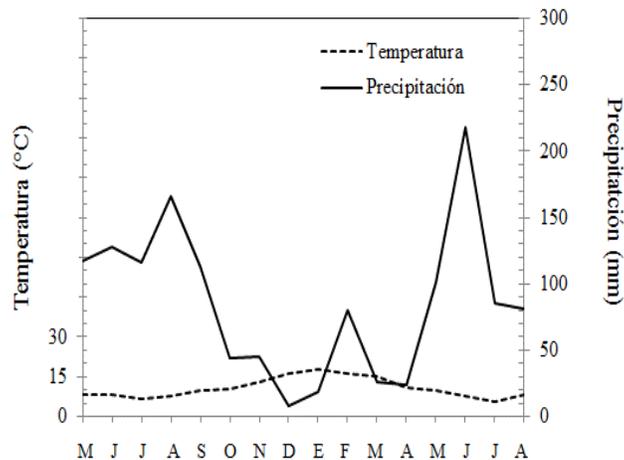
Los suelos del sur de Chile son principalmente del orden Andisol, constituidos de cenizas volcánicas de diferente antigüedad y sometidos a diferentes procesos **pedológicos (Donoso, 1995)**. En algunos sectores específicos, especialmente a orillas de los grandes lagos de la Región de Los Ríos y Los Lagos, se encuentran los llamados suelos ñadi (placaquands o aquands). Estos suelos se caracterizan por presentar un horizonte orgánico superior delgado. Bajo este horizonte, a profundidades que oscilan

normalmente entre 10 y 100 cm, se encuentra un estrato delgado, muy duro e impermeable, constituido principalmente por óxidos de hierro (fierrillo). Las características de este estrato le confiere con frecuencia condiciones extremas de humedad durante el año a este suelo (sequedad en verano y anegamientos frecuentes en invierno) (IRRI, 1985); (Aguilera, Mora, Borie, Peirano, & Zunino, 2002). Al igual que gran parte de los suelos del centro-sur de Chile, los suelos ñadi se encontraban originalmente cubiertos de bosques, sin embargo, el proceso de colonización que se inició desde mediados del siglo XIX provocó la casi total remoción de esta cubierta especialmente en el valle central del país, con el objetivo de habilitar suelos para uso agrícola (Armesto, Villagrán, & Donoso, 1994). En los suelos ñadi, la remoción de la masa boscosa llevó a que las condiciones de humedad se volvieran en muchos casos aún más extremas, no resultando adecuados para su utilización con fines agrícolas. Una medida de mejora que se aplica con cada vez mayor frecuencia en estos suelos es el drenaje, de manera de eliminar las condiciones de humedad extrema, permitiendo así el establecimiento de algún tipo de cultivo. En el presente trabajo se evalúa en un suelo ñadi de la Región de La Araucanía, la variación mensual de dos indicadores de estabilidad física relacionados al contenido de humedad: estabilidad de agregados y nivel de humectación. De esta manera, se pretende determinar los cambios físicos potenciales que este tipo de suelo puede sufrir ante la aplicación de herramientas de acondicionamiento tales como el drenaje.

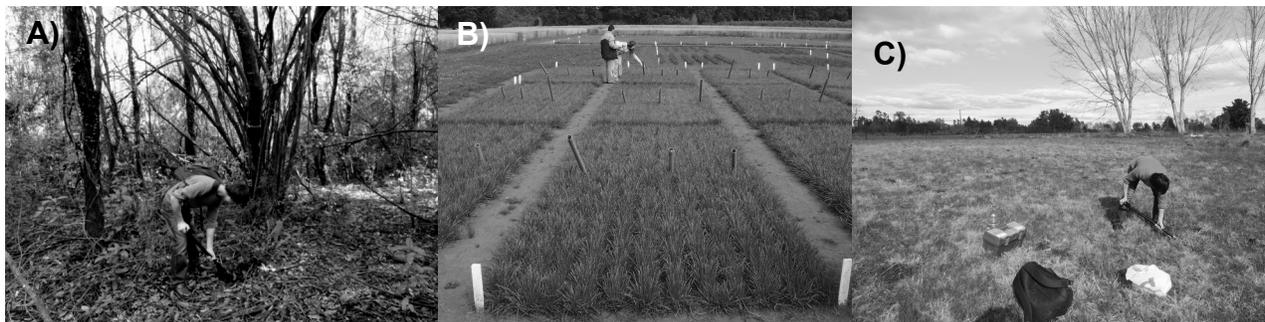
## METODOLOGIA

El área de estudio corresponde al predio Experimental Maquehue, de propiedad de la Universidad de La Frontera. Este predio se ubica a 10 km al SO de la ciudad de Temuco, en la Región de La Araucanía, Chile (38° 46' S, 72° 38' O). El clima de la zona es templado cálido lluvioso con influencia mediterránea (temperatura media anual: 12°C; Precipitación media anual: 1324 mm). La Figura 1 muestra un diagrama climático de la zona durante la época de evaluaciones. El suelo del predio posee historial de uso intensivo, principalmente de tipo agrícola en los sectores de lomajes suaves, con presencia de relictos de bosque nativo en quebradas aledañas. Las situaciones evaluadas corresponden a bosque relicto (F), pradera de *Lolium perenne* (L-0), pradera de *L. perenne* con enmienda orgánica de origen lignocelulósico (L-30) y una pradera de *Trifolium perenne* (Pr) (Figura 2). Las situaciones L-0 y L-30 fueron establecidas con fines experimentales en un proyecto de investigación ya terminado. La situación Pr tiene antecedentes de degradación por presencia de ganado. En cada situación, se realizó un reconocimiento inicial de y durante 13 meses se tomaron muestras de suelo superficial (0-10 cm). Cada mes, tres puntos se ubicaron fueron ubicados al azar en cada situación. Alrededor de cada punto (distancia máxima: 1 m desde el centro), se tomó una muestra disturbada (peso de la muestra: 500 g) y tres muestras no disturbadas (volumen de cilindro: 60 cm<sup>3</sup>). Las muestras disturbadas fueron secadas al aire y luego tamizadas en rango de 2-4.7 mm. Estas muestras se utilizaron para evaluación de estabilidad de agregados, adaptando los métodos de Humectación

Rápida (Hr) y Humectación Lenta (HI), basado en la metodología descrita por Ojeda, Alcañiz y Le Bissonais (2008). En Hr, los agregados (5 g por muestra) son inmersos en agua durante 10 min en un recipiente, luego de lo cual el agua en exceso es removida con pipeta. Posteriormente, los agregados son suspendidos en etanol, secados al aire y pesados nuevamente, de manera de obtener el porcentaje del peso inicial que permanece estable. En HI, los agregados son humectados mediante capilaridad, luego de lo cual a misma cantidad de agregados por muestra es humectada lentamente mediante capilaridad (tensión aplicada: 0.3 kPa durante 60 min), luego de lo cual se sigue el mismo procedimiento que en Hr. Las evaluaciones de estabilidad de agregados se hicieron en triplicado. Para la evaluación de humectación, las muestras no disturbadas se evaluaron a humedad de campo con el método Water Drop Penetration Time (WDPT) para caracterizar el nivel de humectación (Doerr, 1998). En este método, se mide el tiempo que demora una gota de agua en infiltrar en la muestra. Por cada muestra, se aplicaron diez gotas, midiéndose con cronómetro el tiempo que cada gota tarda en infiltrar completamente. Las muestras no disturbadas fueron luego pesadas y secadas al aire, y evaluadas nuevamente con WDPT en laboratorio.



**Figura 20** Diagrama climático de la zona de evaluación (Región de La Araucanía, Chile) (Fuente: estación meteorológica 857430-SCTC).



**Figura 21** Sitios evaluados en el Fundo Experimental Maquehue (Región de La Araucanía, Chile). a) Bosque relicto, b) Praderas experimentales de *Lolium perenne*, c) Pradera de *Trifolium perenne*.

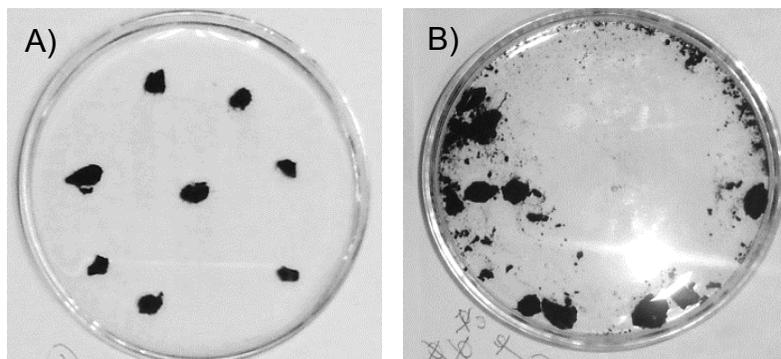
## RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización inicial del suelo superficial de las diferentes situaciones evaluadas. Como se observa, Pr muestra una densidad aparente significativamente mayor que las demás situaciones, lo cual se encuentra en relación con su historial de presencia de ganado. Al mismo tiempo, estos suelos son ricos en materia orgánica, sin embargo, el contenido en Pr es significativamente inferior al resto. El mayor contenido de materia orgánica en L-30 se explica por la aplicación de enmiendas orgánicas de manera periódica durante tres años.

**Tabla 4** Caracterización inicial del suelo superficial (0-10 cm) de las situaciones evaluadas. F: Bosque relicto, L-0: Pradera de *Lolium perenne*, L-30: Pradera de *L. perenne* con enmienda orgánica, Pr: Pradera de *Trifolium perenne*.

situación	textura	estructura	densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	porosidad (%)	raíces finas (n° dm <sup>-2</sup> )	materia orgánica (%)
F	Franco	Granular	0.64	75.4	>20	15
L-0	Franco limoso	Granular a grano simple	0.66	74.3	<10	16
L-30	Franco limoso	Granular a grano simple	0.61	76.4	>20	18
Pr	Franco limo arcilloso	En bloque a granular	1.00	61.2	<10	7

La Figura 3 muestra ejemplos de la agregación de las muestras luego de ser sometidas al experimento Hr. La estabilidad de agregados mostró en general una variación estacional coincidente con los cambios de contenido de humedad del suelo, que considerando todas las situaciones, varió entre 9% en la época de verano, hasta un máximo de 67% en invierno (porcentajes gravimétricos).

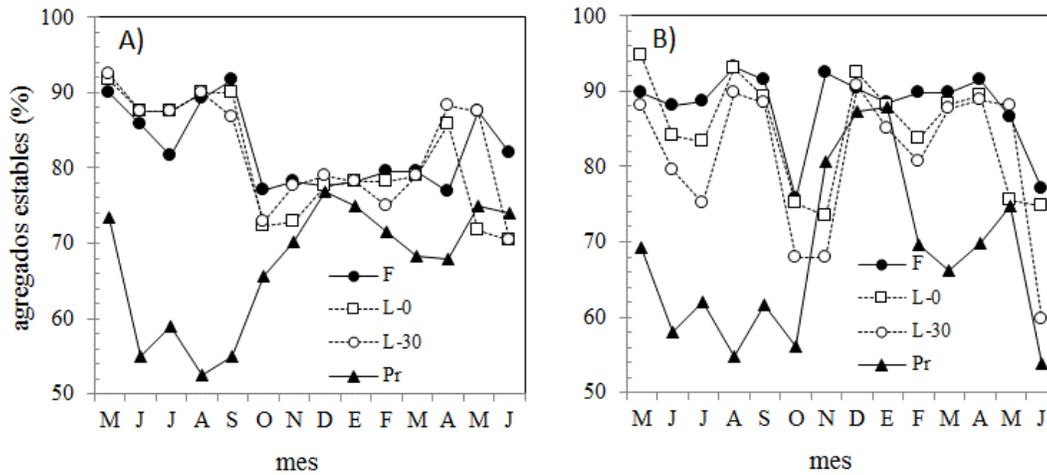


**Figura 22** Ejemplos de evaluación de estabilidad de agregados con el método de Humectación Rápida (Hr), según el porcentaje del peso seco inicial que permanece estable. A) Pradera de *Lolium perenne* (estabilidad: 95%, B) Pradera de *Trifolium perenne* (estabilidad: 69%). Muestras tomadas en el mes de mayo (otoño).

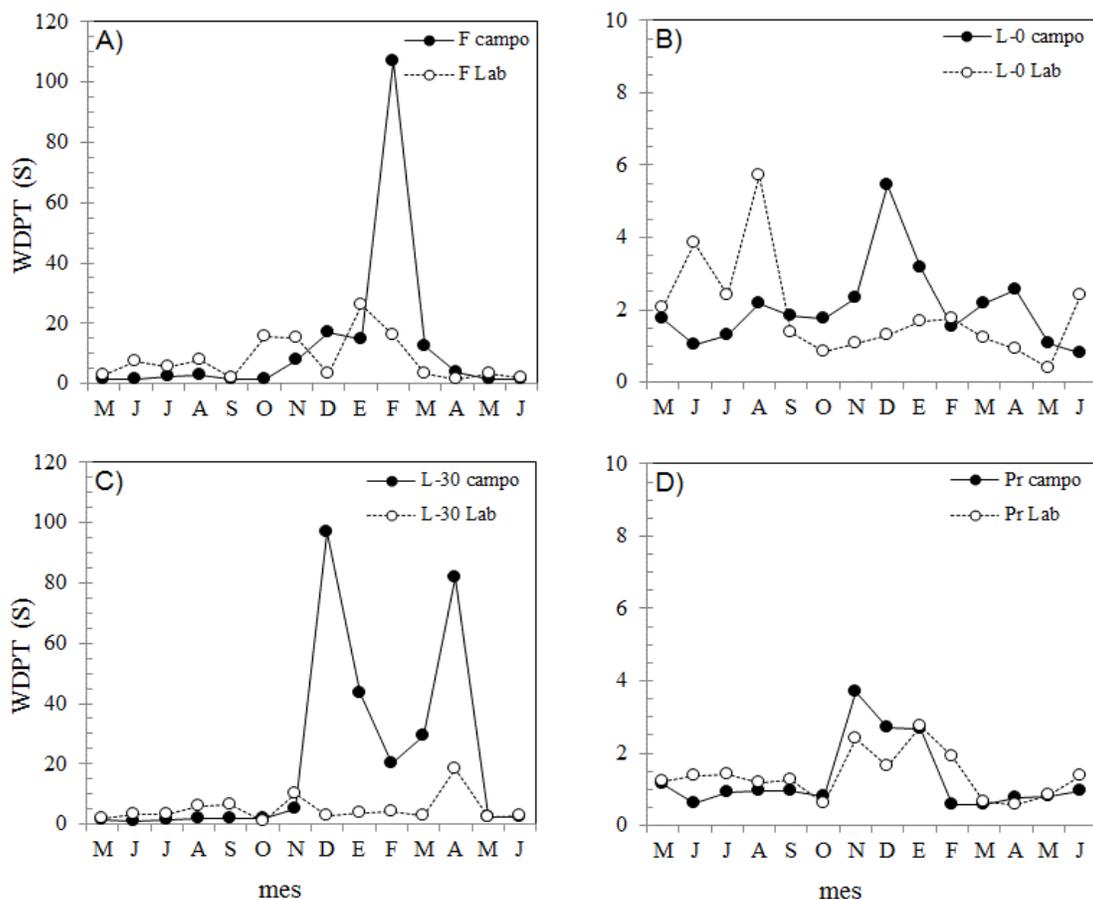
La Figura 4 muestra los resultados de evaluación de estabilidad de agregados para los métodos Hr y HI para las diferentes situaciones. En el caso de Hr, las situaciones F, L-0 y L-30 presentaron valores similares de estabilidad durante la mayor parte de las evaluaciones, con valores cercanos al 90% entre los meses de mayo a septiembre, disminuyendo hasta un promedio de 76% en los meses de octubre a marzo. La situación Pr, con características iniciales diferentes a las otras situaciones (alta compactación y menor contenido de materia orgánica) (ver Tabla 1), se observa una tendencia inversa, significativamente diferente al resto de las situaciones ( $\alpha: 0.01$ ). Esta situación presentó un descenso en la estabilidad de agregados de hasta un 55% en los meses de junio a septiembre, aumentando paulatinamente hasta valores cercanos al 70% en los meses de diciembre a febrero. En HI, las situaciones F, L-0 y L-30 obtuvieron en general valores algo más erráticos en sus variaciones mensuales, con valores promedio entre 82 y 92% de estabilidad durante el año, con disminuciones puntuales en las muestras correspondientes a octubre y noviembre, lo que posiblemente puede relacionarse a aspectos metodológicos. Por su parte, Pr presenta valores en el rango 54-64% en los meses de junio a octubre, aumentando a valores >90% en los meses de noviembre a enero, disminuyendo nuevamente en los meses posteriores. Los menores valores de estabilidad de agregados en Pr pueden ser esperados, ya que la estabilidad de agregados es una variable que posee una buena correlación con el contenido de materia orgánica (Ojeda, Alcañiz, & Le Bissonais, 2008). En este sentido, la mantención de una cobertura vegetal permanente y manejada (como en las situaciones F, L-0 y L-30), contribuye según estos resultados a mantener los compuestos orgánicos que brindan porosidad, estabilidad y cohesión al suelo, tanto por ser una fuente continua de carbono, así como por la actividad de raíces y microbiana (Puget, Angers, & Chenu, 1999). En el caso de L-30, si bien la adición de enmiendas aumentó levemente el contenido de materia orgánica del horizonte superior, esto no se tradujo en un aumento significativo de estabilidad física en comparación a F y L-0, posiblemente porque los compuestos orgánicos adicionados aún no se han integrado adecuadamente a la matriz del suelo (Donoso, 1995).

La Figura 5 resume los resultados de la evaluación del nivel de humectación con el método WDPT, para las diferentes situaciones evaluadas. Para muestras a humedad de campo, esta evaluación mostró que este suelo permanece altamente humectable (tiempo medio de infiltración <5s) la mayor parte del año, con una reducción significativa de la humectación especialmente en F y L-30, en los meses de diciembre a marzo, alcanzando un promedio de 100 s para infiltración completa, clasificándose como repelentes en esta época del año. Estos resultados están de acuerdo con autores como Buczko, Bens y Huttl (2005), quienes determinaron en suelos de plantaciones forestales en Europa, en algunos casos con altos niveles de hidrofobia, que el nivel de humectación tiende a variar estacionalmente, siendo mayor hacia otoño e invierno, y disminuyendo hacia el verano. Si bien en estos mismos meses las situaciones L-0 y Pr muestran una tendencia a la reducción del nivel de humectación, ésta resulta ser no significativa. Por su parte, las muestras evaluadas en laboratorio presentan un patrón similar a las de humedad de campo en todas las situaciones, con muestras levemente más hidrófobas hacia la época de primavera-verano, permaneciendo hidrófilas el resto

del año. Estas variaciones en los niveles de humectación se explican principalmente en relación con la menor tasa de degradación de la materia orgánica en la época



**Figura 23** Estabilidad de agregados según el porcentaje del peso inicial que permanece estable. A) Método de Humectación Rápida (Hr), B) Método de Humectación Lenta (HI). F: Bosque relicto, L-0: Pradera de *Lolium perenne*, L-30: Pradera de *L. perenne* con enmienda orgánica, Pr: Pradera de *Trifolium perenne*.



**Figura 24** Variación mensual del método Water Drop Penetration Time (WDPT) para las diferentes situaciones. A: Bosque relicto (F), B: Pradera de *Lolium perenne* (L-0), C: Pradera de *L. perenne* con enmienda orgánica (L-30), D: Pradera de *Trifolium perenne* (Pr). Campo: muestras a humedad de campo, Lab: muestras secas al aire.

invernal, debido a factores ambientales tales como el alto contenido de humedad del suelo y bajas temperaturas, que reducen la tasa de liberación de componentes orgánicos potencialmente hidrófobos, influyendo de esta manera sobre aspectos cuantitativos de la materia orgánica (Bi, Dekker, & Schoute, 1993). Las diferencias observadas en las situaciones F, L-0 y L-30 con respecto a Pr pueden también explicarse en base a las conclusiones de Pulleman, Six, Van Breemen y Jongmans (2005), quienes determinaron que el tipo de manejo o uso del suelo puede afectar el nivel de contenido de carbono en los agregados, lo cual puede directamente relacionarse al comportamiento de humectación al influir sobre aspectos tales como la estructura del suelo y su estabilidad física en general.

La Figura 6 muestra de la relación entre el contenido de materia orgánica (%) y los resultados obtenidos con el método WDPT, para las situaciones F y L-0. Como se observa, en ambos casos la correlación entre las variables es baja, por lo cual posiblemente los factores cuantitativos de la materia orgánica (contenido porcentual) no son los dominantes en las diferencias observadas en el comportamiento de humectación entre las diferentes situaciones, especialmente F y L-30 con respecto a L-

0 y Pr. En este sentido, Ellies, Grez y Ramírez (1995) concluyeron que los aspectos cualitativos de la materia orgánica pueden ser tanto o más determinantes en los niveles de humectación que los cuantitativos, por lo que una adecuada caracterización del origen de la materia orgánica (especies vegetales y animales presentes) podrá contribuir a determinar los cambios potenciales de humectación del suelo. Si bien los resultados obtenidos en esta evaluación no permiten utilizar adecuadamente el nivel de humectación como indicador de estabilidad física ante cambios de humedad, futuros estudios sobre la base de estos antecedentes permitirán clarificar el rol de las actividades de manejo sobre esta importante propiedad física del suelo.

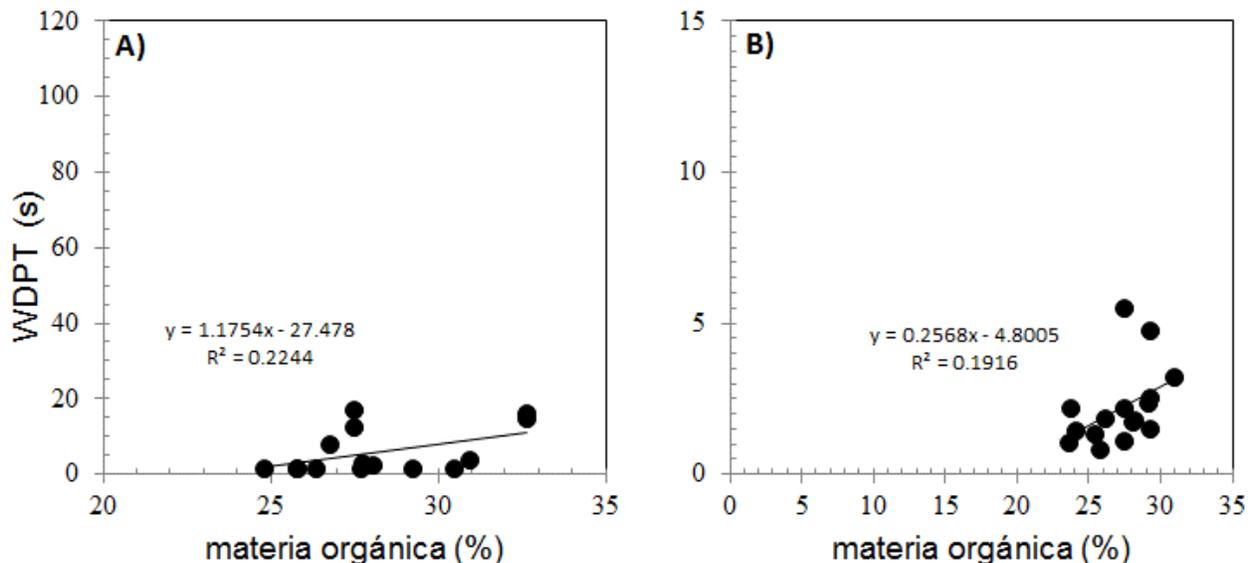


Figura 25 Ejemplos de la relación entre el contenido de materia orgánica (%) y los resultados obtenidos con el método Wader Drop Penetration Time (WDPT) (resultados a humedad de campo). A) Bosque relicto, b) Pradera de *Lolium perenne* (L-0). Notar las diferentes escalas de los gráficos.

## CONCLUSIONES

- Las situaciones F, L-0 y L-30 presentaron valores similares de estabilidad de agregados, mostrando un descenso de la estabilidad hacia la época más seca del año. La situación Pr muestra una menor estabilidad y una tendencia inversa con respecto al contenido de humedad del suelo, lo cual puede explicarse inicialmente por su menor contenido de materia orgánica e historial de degradación previa (compactación).
- La mantención de una cobertura vegetal permanente y manejada en este suelo contribuye significativamente a mantener los compuestos orgánicos que brindan estabilidad, especialmente ante los drásticos cambios de humedad del suelo durante el año.
- El nivel de humectación en general mostró sólo cambios significativos hacia la época seca del año, especialmente en las condiciones F y L-30, sin embargo, la correlación de

esta variable con el contenido de materia orgánica fue bajo, por lo que posiblemente son los aspectos cualitativos de la materia orgánica los dominantes en determinar el nivel de humectación.

- Si bien se demuestra que incluso es suelos ubicados en el rango subcrítico de repelencia, es posible describir un patrón de variación a nivel estacional, esta variable no resulta ser un buen indicador de estabilidad física en las situaciones evaluadas, dado su reducido cambio durante el año.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el proyecto DIUFRO DI11-0051, Dirección de Cooperación Internacional y la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Administración de la Universidad de La Frontera (Temuco, Chile).

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilera, M., Mora, M., Borie, G., Peirano, P., & Zunino, H. (2002). Balance and distribution of sulphur in volcanic ash-derived soils in Chile. . *Soil Biology and Biochemistry*, 34(9), 1355-1361.
- Armesto, J., Villagrán, C., & Donoso, C. (1994). Desde la era glacial a la industrial: la historia del bosque templado chileno. *Ambiente y Desarrollo*, 10(1), 66-7.
- Bi, B. E., Dekker, L., & Schoute, J. (1993). Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*, 56, 105–118.
- Buczko, U., Bens, C., & Huttl, R. (2005). Variability of soil water repellency in sandy forest soils with different stand structure under Scots pine (*Pinus sylvestris*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Geoderma*, 126, 317-336.
- Doerr, S. (1998). On standardizing the “Water Drop Penetration Time” and the “Molarity of an Ethanol Droplet” techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils. *Earth. Surf. Process. Landforms*, 23, 663-668.
- Donoso, C. (1995). Bosques templados de Chile y Argentina. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Ellies, A., Grez, R., & Ramírez, C. (1995). Cambios en las propiedades humectantes de suelos sometidos a diferentes manejos. Turrialba.
- IRRI. (1985). Wetland soils: characterization, classification and utilization. En P. International Rice Research Institute (IRRI. Cambridge, USA: Pamphleteer. .

- Ojeda, G., Alcañiz, J., & Le Bissonnais, Y. (2008). Differences in aggregate stability due to various sewage sludge treatments on a Mediterranean calcareous soil. . *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125, 48-56.
- Puget, P., Angers, D., & Chenu, C. (1999). Nature of carbohydrates associated with water-stable aggregates of two cultivated soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 31, 55-63.
- Pulleman, M., Six, J., Van Breemen, N., & Jongmans, A. (2005). Soil organic matter distribution and microaggregates characteristics as affected by agricultural management and earthworm activity. . *European Journal of Soil Science*, 56, 453-467.

## **F.5.P. Los materiales ópticos como instrumento para determinar la materia orgánica presente en el agua**

### **The optical materials as a tool to determine the organic matter present in the water**

Luz Patricia Naranjo<sup>1</sup>, Alexander Cortés<sup>1</sup>, John Cespedes<sup>2</sup>  
[patricia.naranjo@unibague.edu.co](mailto:patricia.naranjo@unibague.edu.co)

<sup>1</sup> *Facultad de Ciencias Naturales y matemáticas, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia,* <sup>2</sup> *Ingeniería Industrial, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia*

## **RESUMEN**

Este estudio reporta la síntesis y caracterización espectroscópica de vidrios PbO-Bi<sub>2</sub>O-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con nanopartículas de plata e iones de Nd<sup>3+</sup>, y la absorción característica del Ftalato de Potasio (sustancia patrón cuyo consumo de oxígeno se relaciona con la del agua para determinar el nivel de materia orgánica), con la finalidad de crear una técnica óptica que determine los niveles de materia orgánica presente en el agua. Utilizando Microscopia Electrónica de Transmisión y Espectroscopia de Absorción y de Luminiscencia, se analiza la influencia de las partículas de plata sobre la emisión de iones Nd<sup>3+</sup> correspondiente a la transición <sup>4</sup>F<sub>7/2</sub>→<sup>4</sup>I<sub>9/2</sub>. Se identificaron partículas esféricas con diámetros entre 2 y 20 nm y un aumento de la luminiscencia de esta transición en muestras dopadas con partículas de plata. El aumento de la emisión de los iones Nd<sup>3+</sup> en las muestras vítreas que contienen las nanopartículas, se debe probablemente al aumento del campo eléctrico local y a la transferencia de energía de las partículas pequeñas (menores de 5 nm) a los iones. La caracterización óptica del

Ftalato de potasio se hizo mediante espectroscopia de absorción, la cual presentó una banda ancha en el ultravioleta donde el ion también absorbe. Estas absorciones sumadas con la emisión más representativa de los iones son la base para la creación de la técnica óptica, ya que, así como las nanopartículas pueden disminuir y/o aumentar tanto las emisiones como las absorciones de los iones de tierras raras, la materia orgánica (a través del Ftalato de Potasio) lo podría hacer y la cuantificación de esta influencia mediría el nivel del material orgánico presente en el agua.

**Palabras clave:** materia orgánica, agua residual, vidrios, iones  $\text{Nd}^{3+}$ , espectroscopia de absorción y emisión

## ABSTRACT

This study reports the synthesis and characterization of  $\text{PbO-Bi}_2\text{O-Ga}_2\text{O}_3$  glasses with silver nanoparticles and  $\text{Nd}^{3+}$  ions, and the characteristic absorption Potassium Phthalate (standard substance whose oxygen uptake is related to the water to determine the level of organic matter) in order to create an optical technique to determine the levels of organic matter present in the water. Using Transmission Electron Microscopy and Absorption and Luminescence Spectroscopy, the influence of the silver particles on the  $\text{Nd}^{3+}$  ions emission corresponding to the  ${}^4\text{F}_{7/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{9/2}$  transition is analyzed. Spherical particles were identified with diameters between 2 and 20 nm and an increase in luminescence of the transition. The Increasing of  $\text{Nd}^{3+}$  ions emission in vitreous samples containing silver particles is probably due to increased electric field local and energy transfer of the small particles (less than 5 nm) to ions. The optical characterization of potassium phthalate was made by absorption spectroscopy, which showed a broad band in the ultraviolet where the ion also absorbs. These absorptions coupled with the representative emission of ions is the basis for the creation of the optical technique, as well as nanoparticles may decrease and / or increase both emissions and absorptions of the rare earth ions, matter organic (through potassium phthalate) could do and its quantification would the organic material level present in the water.

**Keywords:** organic matter, wastewater, glasses,  $\text{Nd}^{3+}$  ions, absorption and emission spectroscopy

## INTRODUCCION

El término materia orgánica se utiliza como indicativo de la cantidad de todas las sustancias orgánicas presentes en un agua residual. Para cuantificar la masa de materia orgánica se utilizan las mediciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se trata de la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico, y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), que es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico (htt), en esta medida se utiliza como sustancia patrón el Ftalato de Potasio (KPH). En general estos dos indicadores se expresan en mg/l o g/m<sup>3</sup>.

Algunos componentes presentes en la materia orgánica se caracterizan por absorber fuertemente radiación en el ultravioleta (Porras, Jairo, & Romero, 2004) y también en otras longitudes de onda dependiendo de la composición de la materia analizada. Las técnicas ópticas basadas en espectroscopia de absorción y emisión, corresponden a un método alternativo para estudiar los niveles de materia orgánica en el agua, identificando sus niveles de absorción y analizando la influencia que pueda tener esta materia orgánica sobre las absorciones y emisiones de algunos iones de tierras raras como el Nd<sup>3+</sup>, ya que estos poseen una amplia gama de absorciones (ver Tabla 1) que pueden ser resonantes con las posibles absorciones de la materia orgánica, tanto en el ultravioleta como en el visible.

Vidrios con nanopartículas (NPs) metálicas están recibiendo gran atención, ya que sus propiedades ópticas lineales y no-lineales pueden modificarse fuertemente debido a la excitación de los plasmones superficiales (PS) en las NPs (Yamane & Asahara, 2000), (De Araujo, Kassab, Naranjo, & Santa-Cruz, 2006), (Naranjo, De Araújo, Malta, & Kassab, 2005.), (Kreibig & Frangstein, 1969), (Malta, 1986). Los vidrios de Metales Pesados han atraído un gran interés por su alto índice de refracción (~1.8-2.5), Una amplia ventana de transmisión en la región del visible e infrarrojo (400-4500 nm) y una baja energía fonónica de ~700 cm<sup>-1</sup> (Digonnet, 1993.), (Yamane & Asahara, 2000), importante para la fabricación de dispositivos opto-electrónicos, entre ellos, dispositivos para caracterizar la materia orgánica en el agua.

La emisión más eficiente del ión Nd<sup>3+</sup> es la correspondiente a la transición  $^4F_{7/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$  y emite en la región del rojo, dependiendo de la matriz hospedera. Los plasmones de las NPs (~2-10 nm de diámetro) absorben en el ultravioleta y en visible (las partículas mayores), dependiendo de la matriz. La tabla 1, presenta los niveles de absorción del ión Nd<sup>3+</sup>, en unidades de longitud de onda (nm) y de energía (cm<sup>-1</sup>), donde podemos visualizar los niveles que absorben alrededor de 290 y 420 nm (longitudes de onda donde absorben las partículas metálicas) con respecto a su nivel fundamental  $^4I_{9/2}$ . Fenómenos de transferencia de energía ión-partícula-ión se puede dar y en consecuencia las emisiones del ión se pueden alterar, ya sea, disminuyéndolas o aumentándolas. Tanto la disminución como el aumento de la luminiscencia de iones de tierras raras, triplemente ionizados TR(III), en presencia de las partículas de plata, se han reportado (Naranjo, De Araujo, Malta, Santa-Cruz, & Couto, 2004), (Couto, 1992. ), y el tamaño de la partícula juega un papel muy importante en dichas emisiones.

En este trabajo se analiza la emisión de la transición  $^4F_{7/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$  del ión Nd<sup>3+</sup> en vidrios PbO-Bi<sub>2</sub>O-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PBG (vidrio formado por óxidos de metales pesados), dopados con

partículas de plata y se hace una caracterización de la absorción del KPH para identificar las absorciones resonantes de la sustancia con las del ión.

**Tabla 5** Niveles de absorción del ión Nd 3+ [12]

Nd <sup>3+</sup>					
Nivel	Longitud de Onda (nm)	Energía (cm <sup>-1</sup> )	Nivel	Longitud de Onda (nm)	Energía (cm <sup>-1</sup> )
<sup>4</sup> I <sub>9/2</sub> , fundamental	-----	0	<sup>4</sup> G <sub>9/2</sub>	475	21053
<sup>4</sup> I <sub>11/2</sub>	5000	2000	<sup>2</sup> D <sub>3/2</sub>	469	21322
<sup>4</sup> I <sub>13/2</sub>	2454	4075	<sup>4</sup> G <sub>11/2</sub>	460	21739
<sup>4</sup> I <sub>15/2</sub>	1654	6046	<sup>2</sup> P <sub>1/2</sub>	427	23419
<sup>4</sup> F <sub>3/2</sub>	866	11547	<sup>2</sup> D <sub>5/2</sub>	418	23923
<sup>4</sup> F <sub>5/2</sub> , <sup>2</sup> H <sub>9/2</sub>	796	12563	<sup>2</sup> P <sub>3/2</sub>	380	26316
<sup>4</sup> F <sub>7/2</sub>	741	13495	<sup>4</sup> D <sub>3/2</sub>	354	28249
<sup>4</sup> S <sub>3/2</sub>	732	13661			
<sup>4</sup> F <sub>9/2</sub>	678	14749	<sup>4</sup> D <sub>1/2</sub>	346	28902
<sup>2</sup> H <sub>11/2</sub>	624	16026	<sup>2</sup> L <sub>15/2</sub>	329	30395
<sup>2</sup> G <sub>7/2</sub> , <sup>4</sup> G <sub>5/2</sub>	577	17331	N	326	30675
<sup>4</sup> G <sub>7/2</sub>	522	19157	O	311	32154
<sup>2</sup> G <sub>9/2</sub>	510	19608			
<sup>4</sup> G <sub>9/2</sub>	475	21053	P	305	32787
<sup>2</sup> D <sub>3/2</sub>	469	21322	Q	298	33557
<sup>4</sup> G <sub>11/2</sub>	460	21739	R	290	34483

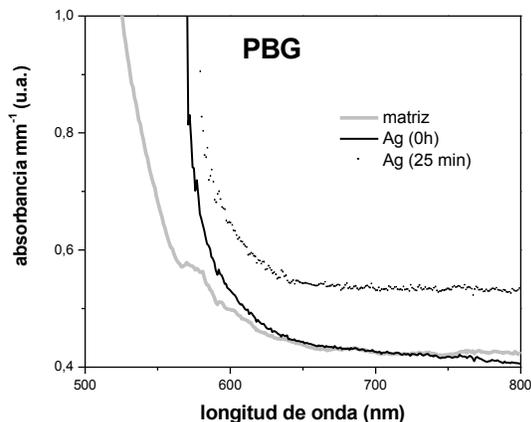
**Tabla 1.** Niveles de Energía del ión Nd<sup>3+</sup>.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

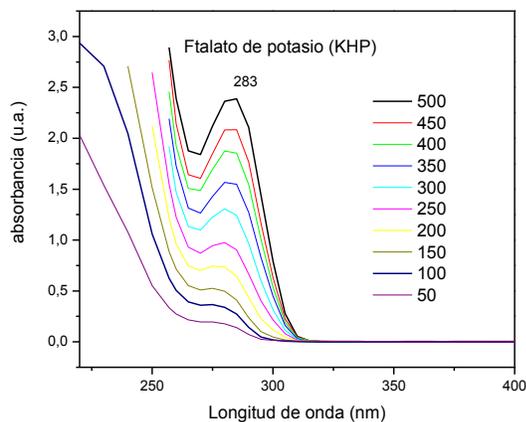
Los vidrios fueron preparados de acuerdo con la siguiente composición (mol por ciento): 57PbO–25Bi<sub>2</sub>O–18Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Las especies dopantes son Ag (0.5% en peso) obtenidas a partir de AgNO<sub>3</sub> y Nd<sup>3+</sup> (0.5% en peso). Los reactivos se fundieron en un crisol de platino, a una temperatura de 1000°C durante una hora. El material fundido se vierte en un molde de latón pre-calentado a 250°C. Los vidrios se sometieron a diferentes tiempos de tratamientos térmicos a 250°C para nuclear las partículas de plata, temperatura cercana a la temperatura de transición vítrea, ya que en esta temperatura las partículas difunden más fácilmente. Finalmente, las muestras con buena calidad óptica fueron cortadas y pulidas para los respectivos experimentos ópticos. Los espectros de absorción, fueron obtenidos en la región del ultravioleta-visible (UV-VI), en un espectrómetro Beckman Du7500 en el rango de las longitudes de onda de 200-800 nm, los del KPH en un espectrómetro Único en el mismo rango. Las medidas fueron tomadas en las muestras vítreas, con forma masiva (espesor 2 mm y 1 cm<sup>2</sup> de área), utilizando como referencia el aire y las del KPH (muestras líquidas) se tomó como referencia agua destilada. La evidencia de la nucleación de las partículas, en las muestras vítreas, la obtuvimos de la Microscopia Electrónica de Transmisión (MET) que determina el tamaño y la forma de las partículas metálicas y de los conglomerados. Los espectros de luminiscencia, excitación y emisión del vidrio, fueron obtenidos utilizando como fuente de excitación una lámpara de Xenon (300W 45mW/nm) y un espectrómetro ISS K2 Multifrequency phase Fluorometer con doble monocromador (Oriel; modelo 77200) y una resolución de 0.5 nm para coleccionar la emisión.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los espectros de absorción normalmente permiten la identificación de la posición de la absorción de los PS de las partículas metálicas, pero en la matriz PBG no se puede monitorear la formación de esta banda, debido a que la ventana de transmisión de esta matriz no lo permite y la absorción tiene lugar en el gap del vidrio, esta es transparente a partir de 500 nm, como se observa en la Figura 1.



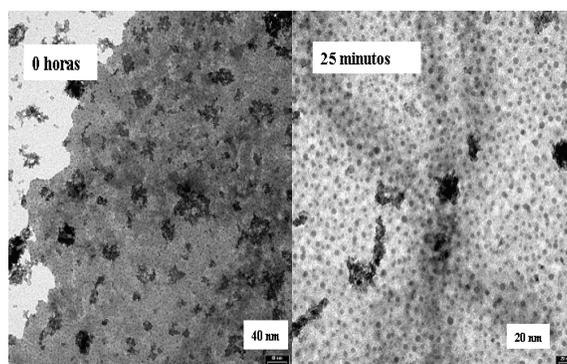
**Figura 26** Espectros de Absorción de muestras con y sin partículas de plata. Las muestras que tienen plata recibieron tratamiento térmico a una de 250°C durante 0 y 25 minutos respectivamente.



**Figura 27** Espectros de Absorción del Ftalato de Potasio para diferentes concentraciones (mg de O<sub>2</sub>/L).

La Figura 2 presenta las absorciones del KHP en función de la concentración de oxígeno consumido, donde podemos apreciar una banda de absorción ancha con un pico en 283 nm cuya altura disminuye a medida que se baja la concentración. La absorción característica encontrada es resonante con el nivel R del ión Nd<sup>3+</sup>, de acuerdo a lo presentado en la Tabla 1, lo cual nos permite pensar en este ión como candidato a ser utilizado en la técnica para medir la materia orgánica.

En las micrografías de la Figura 3, se observan partículas con forma esférica y una distribución de tamaño bastante inhomogénea, con diámetros que varían entre 3-30 nm y formación de conglomerados. De acuerdo como se encuentra en la literatura [4,9], las partículas con diámetros menores de 10 nm, sufren confinamiento cuántico y la absorción se realiza a través de transiciones electrónicas inter bandas. Para las partículas con diámetros mayores de 10 nm, la absorción de los PS ocurre cerca de 400 nm y los conglomerados forman un continuo de absorción desde 500 nm hacia el infrarrojo.

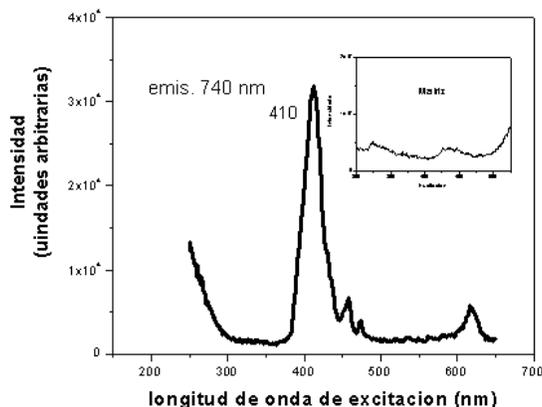


**Figura 28** Micrografías MET de muestras PBG con Ag.

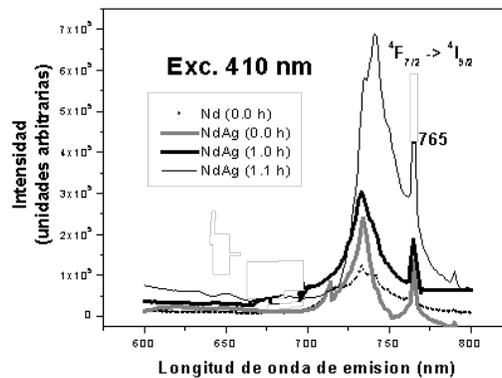
Para determinar con cual longitud de onda se debe excitar la muestra vítrea para una emisión más eficiente, se obtiene un espectro de excitación. Este se consigue haciendo un barrido de longitudes de onda de excitación entre 250-400 nm, para la emisión correspondiente a la transición  ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$  (~740 nm). La Figura 4 presenta los espectros de excitación para una muestra con iones  $\text{Nd}^{3+}$  y NPs de plata, y para la matriz sin dopantes (figura insertada). Podemos identificar que la longitud de onda para una emisión más eficiente, es 410 nm (corresponde al nivel  ${}^2D_{5/2}$  de la Tabla 1), esta sería la longitud de onda con la que excitaríamos la muestra. En la matriz, sin dopantes, no se aprecia ninguna longitud de onda en particular, lo cual significa que la matriz no posee una emisión resonante con la emisión esperada.

En la Figura 5, tenemos finalmente los espectros de emisión, donde podemos apreciar, no solo un aumento de la emisión correspondiente a la transición  ${}^4F_{7/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ , sino que también, se aprecia un aumento en otras transiciones menos eficientes del ión, a medida que aumentamos el tiempo de tratamiento térmico. Inclusive, en la muestra que no tiene tratamiento térmico adicional, NdAg (0.0 h), se aprecia un aumento, lo cual significa que ya existe una concentración de NPs nucleadas, que son las responsables del incremento en la emisión.

Las NPs alteran la emisión (también pueden alterar la absorción, según estudios previos a este trabajo) de los iones, debido a que los PS de partículas absorben en longitudes de onda donde el ión también lo hace, así también, podríamos esperar que el KPH lo pueda hacer, ya que este absorbe en el ultravioleta (~283 nm) cercano a como lo hace el ión.



**Figura 29** Espectro de excitación de la muestra dopada con  $\text{Nd}^{3+}$  (0.5%) y Ag (0.5 %) sin tratamiento térmico. La figura insertada corresponde al espectro de la matriz sin dopantes.



**Figura 30** Espectros de emisión con 410 nm de longitud de onda de excitación para muestras dopadas con Nd<sup>3+</sup> (Nd), únicamente, y Nd<sup>3+</sup> más Ag (NdAg), tratadas térmicamente a 250oC durante 0.0, 1.0 y 1.1 horas, respectivamente.

## CONCLUSIONES

Tanto las absorciones y emisiones de los iones Nd<sup>3+</sup> como la absorción de las partículas de plata hacen de estos materiales candidatos a ser utilizados para medir los niveles de materia orgánica en el agua, a través de la influencia que pueda tener el KPH sobre las características espectroscópicas de los mismos, teniendo en cuenta que el KPH determina la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico.

Una medida de la DBO de una muestra de agua residual (cuya materia orgánica absorbe en ~260 nm de acuerdo a lo reportado por otros autores) se podría obtener midiendo la alteración (aumento o disminución) de las emisiones y absorciones del ion Nd<sup>3+</sup> cuando este es adicionado a la muestra, ya que presenta su absorción cercana al del nivel R del ión.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a los doctores Cid de Araujo y Oscar Malta, Departamento de Física y Departamento de Química Fundamental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-Brasil, respectivamente y a Luciana Kassab, Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo-Brasil, por su colaboración y orientación en la caracterización óptica de los vidrios dopados con iones de tierras raras y nanoestructuras metálicas. También expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad de Ibagué por el soporte económico a este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

(s.f.). Obtenido de <http://www.oocities.org/edrochac/residuales/dboydqq2.pdf>

Couto, M. (1992. ). Contribuição ao Rendimento Quântico 4f-4f das Partículas de Ag em Vidros. *tese de doutorado*. Recife: Departamento de Física Universidade Federal de Pernambuco.

De Araujo, C., Kassab, L., Naranjo, L., & Santa-Cruz, P. (2006). "Luminescence enhancement of Pb<sup>2+</sup> ions in TeO<sub>2</sub>-PbO-GeO<sub>2</sub> glasses containing silver nanostructures". *Journal of Applied Physics.*, Vol. 99, 1235221-1235224.

Digonnet, M. J. (1993.). Rare Earth Doped Fiber Lasers and Amplifiers. New York.

Kreibig, U., & Frangstein, C. (1969). The Limitation of Electron Mean Free Path in Small Silver Particles. *Zeitschrift für Physik*, Vol. 224. , 307-323.

Malta, O. (1986). Emission yield enhancement for non-linear processes in the presence of small metallic particles. *Physics Letters*, Vol. 114A, 198-200.

Naranjo, L. (2006). Preparação y caracterização óptica de vidros dopados com terras raras e nanopartículas de prata. *tese de doutorado programa de Ciência de materiais*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco,.

Naranjo, L., De Araújo, C., Malta, O., & Kassab, L. (2005.). "Enhancement of Pr<sup>3+</sup> luminescence in PbO-GeO<sub>2</sub> glasses containing silver nanoparticles". *Applied Physics Letters*. , Vol. 87, 2419141-2419144.

Naranjo, L., De Araujo, C., Malta, O., Santa-Cruz, P., & Couto, M. (2004). Growth of metallic Ag nanoparticles in fluoroborates glasses doped with rare earth and their optical characterization. En A. Marcano, & J. L. Paz (Edits.), *5th Iberoamerican Meeting on Optics and 8th Latin American Meeting on optics, Lasers, and their applications* (Vol. Vol. 5622, págs. 551-555.). Bellingham, WA: Proc. Of SPIE .

ISBN: 978-9968-641-26-5

Porras, A. A., Jairo, J. G., & Romero, J. A. (2004). Prefactibilidad de uso de la AUV254 como sustituto de la DBO para evaluar lagunas de estabilización. *Rev. Colombiana de Ingeniería, Vol 56*, 11-19.

Yamane, M., & Asahara, Y. (2000). *Glasses for Photonics*. UK: Cambridge University Press.