



# REPORTES CIENTÍFICOS

D E L A F A C E N

ISSN 2078-399X (impreso)

ISSN 2222-145X (online)

Volumen 9

Número 2

2018

Micromamíferos no voladores (Rodentia y Didelphimorphia) en tres sitios con distintos grados de perturbación de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú.

---

Características poblacionales de *Akodon montensis* en diferentes calidades de su hábitat, y características del microhábitat relacionadas a su presencia en el Bosque Atlántico Interior de Paraguay.

---

Nuevos registros de anuros para la urbanización Surubi'i (departamento Central, Paraguay).

---

Estudio multifrecuencia de la galaxia IZw18.

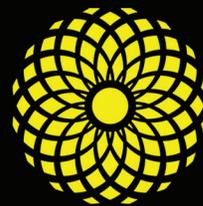
---

Estudio del grado de contaminación por hierro en el acuífero Patiño en pozos profundos de la zona de Luque.

---

Modelado matemático del índice ultravioleta en la ciudad de San Lorenzo, Paraguay.

---



**FACE N**

Facultad de Ciencias  
Exactas y Naturales

PUBLICACIÓN CIENTÍFICA  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN-PARAGUAY

# REPORTES CIENTÍFICO DE LA FACEN



*Reportes Científicos de la FACEN*, es una revista de acceso libre y gratuito y es la publicación científica oficial de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción. Es emitida semestralmente y publica artículos originales, artículos de revisión, tópicos actuales, reportes de casos, comunicaciones cortas y cartas al editor, en las áreas de Biología, Química, Física, Matemática Pura, Matemática Estadística, Geología, Biotecnología y Tecnología de Producción. Los trabajos y opiniones publicados en la revista son de exclusiva responsabilidad de los autores.

## UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Prof. Lic. Abel Bernal Castillo M.Sc.  
Rector

## FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Prof. Constantino Nicolás Guefos Kapsalis, MAE  
Decano

### Dirección Web

[www.facen.una.py](http://www.facen.una.py)

## REPORTES CIENTÍFICOS DE LA FACEN

### Dirección postal

Reportes Científicos de la FACEN, Dirección de  
Investigación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Campus Universitario, Casilla de Correo 1039, San Lorenzo,  
Paraguay

### Teléfono/Fax

595 21 585600 interno 237

### E-mail

[reportescientificos@gmail.com](mailto:reportescientificos@gmail.com)

### Dirección web

<http://www.facen.una.py/es/publicaciones-cientificas/>

---

### Editor en Jefe

Lic. Fernando José Méndez Gaona, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad Nacional de Asunción

#### Comité Editorial Nacional

Dr. Bolívar Rafael Garcete Barrett  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de Asunción

Lic. Nery López  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Andrea Weiler de Albertini  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Fredy Julián Gómez Grance  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Miguel Ángel Martínez Cabrera  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de Asunción

M. Sc. Danilo Fernández Ríos  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad Nacional de Asunción

Dra. Celeste Vega  
Centro para el Desarrollo de Investigación Científica

Dra. Miriam Rolon  
Centro para el Desarrollo de Investigación Científica

Dra. Antonieta Rojas de Arias  
Organización Panamericana de la Salud - Paraguay

#### Comité Editorial Internacional

Dr. Robert Owen  
Texas Tech University - Estados Unidos

Dra. Ana Honfi  
Universidad Nacional de Misiones - Argentina

Dr. Julio Daviña  
Universidad Nacional de Misiones - Argentina

Dr. Nicolás Niveiro  
Universidad Nacional del Nordeste - Argentina

Dra. María Paula Badenes  
Universidad Nacional de La Plata - Argentina

Dr. Anselmo Mc Donald  
Universidad de Panamá - Panamá

Dr. José Seguinot  
Universidad de Puerto Rico - Puerto Rico

Dr. Ángel Vara Vela  
Universidad de São Paulo - Brasil

Dr. Fábio Luis Teixeira Gonçalves  
Universidad de São Paulo - Brasil

Dr. Víctor Velázquez  
Universidad de São Paulo - Brasil

Dr. Sebastián Simondi  
Universidad Nacional de Cuyo - Argentina

Rep. cient. FACEN	San Lorenzo (Paraguay)	Vol. 9, Nº 2	julio-diciembre de 2018	ISSN 2078-399X (versión impresa) ISSN 2222-145X (versión online)
-------------------	------------------------	--------------	----------------------------	---

# REPORTES CIENTÍFICOS

## DE LA FACEN

### ÍNDICE DE CONTENIDOS

Rep. cient. FACEN	San Lorenzo (Paraguay)	Vol.9, Nº 2	julio-diciembre de 2018	ISSN 2078-399X (versión impresa) ISSN 2222-145X (versión online)
-------------------	------------------------	-------------	-------------------------	---

- 57-69 **María Belén Barreto.** Micromamíferos no voladores (Rodentia y Didelphimorphia) en tres sitios con distintos grados de perturbación de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú. [Artículo Original].
- 70-77 **Julieta P. Sánchez M.** Características poblacionales de *Akodon montensis* en diferentes calidades de su hábitat, y características del microhábitat relacionadas a su presencia en el Bosque Atlántico Interior de Paraguay. [Artículo Original].
- 78-79 **Gabriela Huttemann & Esteban Lavilla.** Nuevos registros de anuros para la urbanización Surubi'i (departamento Central, Paraguay). [Comunicación Corta].
- 80-90 **José María Gómez & Carolina Kehrig.** Estudio multifrecuencia de la galaxia IZw18. [Artículo Original].
- 91-100 **Nilsa Concepcion Ortigoza Caceres.** Estudio del grado de contaminación por hierro en el acuífero Patiño en pozos profundos de la zona de Luque. [Artículo Original].
- 101-104 **Abel Delgado & Fernando Mendez.** Modelado matemático del índice ultravioleta en la ciudad de San Lorenzo, Paraguay. [Artículo Original].





## Micromamíferos no voladores (Rodentia y Didelphimorphia) en tres sitios con distintos grados de perturbación de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú

### Nonvolant micro-mammals (Rodentia and Didelphimorphia) in three sites with different degrees of disturbance of the Mbaracayú Forest Nature Reserve

María Belén Barreto\*

\*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN), Universidad Nacional de Asunción (UNA). mariabelenbio@gmail.com

**Resumen:** Los cambios de hábitats y los cambios en la diversidad de los micromamíferos están asociados. Esta investigación pretende determinar la relación de los micromamíferos no voladores (Rodentia y Didelphimorphia) en tres sitios con distintos grados de perturbación de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú. La metodología utilizada fue de captura marca recaptura en tres sitios, en dos estaciones del año, en el 2015 y 2016. El total de especies registradas fue de 17, de las cuales 13 especies fueron roedores y 4 fueron didélfidos. *Akodon montensis* y *Hylaeamys megacephalus* fueron las especies más abundantes en todo el muestreo. Estas especies de roedores se adaptan a los diferentes grados de perturbación por ende son las más conspicuas. La especie de didélfido más común en todo el estudio fue *Gracilinanus agilis* que podría estar adaptado a los diferentes grados de perturbación del hábitat dada su ocurrencia en todos los sitios.

**Palabras clave:** diversidad de especies, riqueza de especies, comunidad, RNBM

**Abstract:** Habitat changes and changes in the diversity of small mammals are associated. This research aims to determine the relationship of nonvolant micro-mammals (Rodentia and Didelphimorphia) in three sites with different degrees of disturbance of the Mbaracayú Forest Nature Reserve. The methodology used was capture recapture mark in three sites, in two seasons of the year, in 2015 and 2016. The total of registered species was 17, of which 13 species were rodents and 4 were didelphids. *Akodon montensis* and *Hylaeamys megacephalus* were the most abundant species throughout the sampling. These species of rodents adapt to different degrees of disturbance, therefore they are the most conspicuous. The most common didelphid species in the study was *Gracilinanus agilis*, which could be adapted to the different degrees of habitat disturbance given its occurrence at all sites.

**Keywords:** species diversity, species richness, community, RNBM.

## INTRODUCCIÓN

Los micromamíferos pueden llegar a ser indicadores del estado de los bosques, dado que la heterogeneidad del espacio en que se encuentran promueve la diversificación de sus nichos espaciales, además de ser dispersores de semillas, esporas y propágulos de plantas, hongos y líquenes, descomponedores de materia orgánica, controladores de la población de invertebrados y a la vez presas de gran número de vertebrados (Aragón et al., 2009).

Generalmente los cambios de hábitats y los cambios en la diversidad de los micromamíferos están asociados, y la perturbación ecológica de estos hábitats está asociado de igual manera con la disminución de la riqueza de especies de los pequeños

mamíferos (Avenant, 2000).

En Paraguay existen actualmente registradas 177 especies de mamíferos (López-González et al., 2014). En cuanto a roedores existen registradas aproximadamente 57 especies que forman parte del Orden Rodentia comprendida en 11 familias (<http://www.faunaparaguay.com/listmammals.html>). El número de especies del Orden Didelphimorphia (zarigüeyas) registradas para Paraguay es de 18 especies (de la Sancha y D'Elia, 2015).

El objetivo del presente trabajo es conocer las especies de micromamíferos no voladores (Rodentia y Didelphimorphia) que se encuentran conviviendo en tres sitios con distintos grados de perturbación de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú.

Recibido: 27/11/2017    Aceptado: 26/11/2018



## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprende la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú (RNBM), que cuenta con 64.405 hectáreas correspondiente al área núcleo de la Reserva de Biosfera del Bosque Mbaracayú (RBM). Se localiza al noreste de la región Oriental del Paraguay, entre los 24° 00' y 24° 15' de latitud Sur, y 55° 00' y 55° 32' de longitud Oeste, en el Departamento de Canindeyú (FMB/BM, 2005).

Para este estudio se designaron tres parcelas de acuerdo a la calidad del hábitat, definidos en términos de perturbación: B (perturbación baja), A (perturbación media) y G (perturbación alta). La selección de las tres parcelas se realizó en base a líneas de estudios previos en el marco del Proyecto Ecología de Hantavirus, en sitios en los cuales fueron hallados roedores seropositivos con presencia de anticuerpo contra *Hantavirus*, donde datos de vegetación obtenidos de cada parcela fueron promediados y analizados para la elección de los sitios mediante Principal Component Analysis (PCA) con Minimum Spanning Tree (MST). Estas tres parcelas fueron evaluadas basadas en características estructurales de la vegetación, medidas en cada estación de cada parcela.

La recolección de datos se realizó en una planilla de registros donde se tomaron datos de cada individuo objeto de estudio como el código de PIT (Passive Integrated Transponder), fecha, número de estación de trampeo, lugar de colocación de la trampa (suelo, encima del suelo), identidad específica del individuo, sexo, clase de edad (determinada según los patrones de coloración entre subadulto y adulto, el peso, proporciones entre patas, cola, orejas), condición reproductiva, peso y la salud en general.

Los muestreos se realizaron los meses de junio/julio (época seca) y noviembre (época lluviosa) de los años 2015 y 2016. Cada muestreo abarcaba 5 noches en cada parcela. Se trabajaron con tres parcelas distantes mínimo a 1 km una de otra, diferenciadas por el grado de perturbación. Se tuvieron en cuenta datos del clima en cada época del año, y se compararon los dos periodos (seco y lluvioso) de forma anual.

El tamaño de cada parcela fue de 12x12 (144 estaciones en total). En una cuadrícula, las filas serían designadas con las letras A - L; y las columnas con los números 1 - 12. Cada letra con su número correspondía a una estación. Cada estación permaneció separada a unos 10 metros entre sí. En cada estación se colocaron dos trampas Sherman (7,5 x 9,0 x 23,0 cm; H. B. Sherman Traps, Tallahassee, Florida) en el suelo y otra a 1-3 m por encima del suelo (lianas o ramas de árboles). Sin embargo, una sesión de muestreo (periodo de junio/julio de 2015) se utilizaron una trampa a nivel del suelo y una trampa arriba, aumentando en los siguientes muestreos a una trampa más por estación a fin de aumentar el esfuerzo de muestreo. Las trampas se revisaron cada mañana, las cuales fueron cebadas con una mezcla de semilla de avena y mantequilla de maní.

La técnica de captura marca recaptura, consistió en identificar al animal capturado por medio de una etiqueta de 8,4mm de largo implantada por vía subcutánea entre los hombros (PIT, Passive Integrated Transponder) (Biomark Inc., Boise, Idaho). Luego de la recaptura estos animales podían ser identificados por medio de un lector electrónico de mano.

Se extrajeron muestras de tejido (1-2 mm de la punta de la cola) a los individuos marcados para su identificación por ADN, además de la extracción de cráneo a los especímenes encontrados muertos en trampa para corroborar las identificaciones hechas en campo. Para la taxonomía de los roedores sigmodontinos se siguió a D'Elia y Pardiñas (2015) y para marsupiales se siguió a Gardner (2007) y Voss y Jansa (2009).

Las abundancias de las especies en cada muestreo se calcularon con estimador Mark, un análisis probabilístico en el cual se asume que las poblaciones sean cerradas. Este estimador incorpora a los animales que no han sido capturados como parte de la estimación del tamaño de la población (N). La dificultad al utilizar este programa fue cuando el número de individuos eran escasos. Cuando el muestreo produjo diez o menos individuos de una especie, se utilizó el Minimum Number Known Alive (MNKA), que es el número total de individuos de una especie

**Tabla 1.** Especies de micromamíferos encontrados en los diferentes sitios todo el periodo de muestreo.

encontrado en una parcela durante una sesión de muestreo.

Para la comparación de valores de diversidad se utilizó los índices de biodiversidad de Shannon-Weaver y de Simpson.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El esfuerzo de muestreo fue de 23.760 trampas noche. En total se inventariaron 17 especies de micromamíferos no voladores encontrados en los sitios de muestreo de la Reserva. Del total 13 especies son del Orden Rodentia, y 4 del Orden Didelphimorphia.

Para el Orden Rodentia se registró dos familias Cricetidae con 12 especies dentro de la subfamilia Sigmodontinae; y Muridae con 1 sola especie (exótica), perteneciente a la subfamilia Murinae.

En el Orden Didelphimorphia se registró la subfamilia Didelphinae con dos tribus Thylamiyni y Marmosini con 2 especies cada una. Todas pertenecientes a la familia Didelphidae, la única familia de este grupo.

Se registraron 11 especies para los sitios con perturbación baja y perturbación media, y 9 especies para el sitio con perturbación alta (Tabla 1).

Las especies de roedores encontradas en todos los sitios de estudio fueron *Akodon montensis*, *Calomys callosus*, *Hylaeamys megacephalus*, *Oligoryzomys mattogrossae*, *Oligoryzomys nigripes* y *Sooretamys angouya*. La única especie de didélfido presente en todos los sitios fue *Gracilinanus agilis*. Las especies encontradas solo en un sitio de estudio perteneciente a los roedores fueron *Juliomys pictipes*, *Necomys lasiurus*, *Oecomys mamorae*, *Oligoryzomys flavescens*, *Rhipidomys macrurus* y *Rattus rattus*. Dentro de los didélfidos fueron *Cryptonanus chacoensis*, *Monodelphis dimidiata* y *Marmosa paraguayana*.

### Inventario de especies

La diversidad de los grupos de roedores en la zona de estudio, corresponden al 36% del total registrado

Taxón/Especies	Sitios		
	Perturbación Baja	Perturbación Media	Perturbación Alta
<b>Orden Rodentia</b>			
<b>Familia Cricetidae</b>			
<b>Subfamilia Sigmodontinae</b>			
<i>Akodon montensis</i>	•	•	•
<i>Calomys callosus</i>	•	•	•
<i>Calomys</i> sp.			•
<i>Hylaeamys megacephalus</i>	•	•	•
<i>Juliomys pictipes</i>	•		
<i>Necomys lasiurus</i>		•	
<i>Oecomys mamorae</i>		•	
<i>Oligoryzomys flavescens</i>			•
<i>Oligoryzomys mattogrossae</i>	•	•	•
<i>Oligoryzomys nigripes</i>	•	•	•
<i>Rhipidomys macrurus</i>	•		
<i>Sooretamys angouya</i>	•	•	•
<b>Familia Muridae</b>			
<b>Subfamilia Murinae</b>			
<i>Rattus rattus</i>		•	
Total de especies roedores:	13		
<b>Orden Didelphimorphia</b>			
<b>Familia Didelphidae</b>			
<b>Subfamilia Didelphinae</b>			
<b>Tribu Thylamyini</b>			
<i>Cryptonanus chacoensis</i>		•	
<i>Gracilinanus agilis</i>	•	•	•
<b>Tribu Marmosini</b>			
<i>Marmosa paraguayana</i>	•		
<i>Monodelphis dimidiata</i>	•		
Total de especies didélfidos:	4		
Total de especies:	17		

para Paraguay de las dos familias representadas (<http://www.fauparaguay.com/listmammals.html>). En cuanto a los marsupiales, se observó un bajo número de capturas que sin embargo corresponden al 36% de las especies de las dos subfamilias de didélfidos registrados para el país (de la Sancha y D'Elia, 2015).

Para las especies de roedores y didélfidos de la Reserva se estarían sumando a las especies de roedores presentes 6 especies más con este trabajo que son *Sooretamys angouya*, *Oligoryzomys mottogrossae*, *Oligoryzomys flavescens*, *Oecomys mamorae*, *Rhipidomys macrurus* y *Juliomys pictipes*. Para los didélfidos se agregarían 3 especies como *Monodelphis dimidiata*, *Marmosa paraguayana* y *Cryptonanus chacoensis* (FMB/BM, 2005). Esto ayudaría a la actualización de Plan de Manejo de la Reserva, al incluir las especies mencionadas se llegaría a 11 especies de didélfidos y 24 especies de roedores registrados actualmente para la Reserva.

Este trabajo colabora con otros estudios realizados en la Reserva y en la ecorregión del BAAPA sobre micromamíferos. Sin embargo, aún son escasas las investigaciones relacionadas a la ecología de micromamíferos en Paraguay (Chu et al., 2003; Chu et al., 2006; López- González, 2005; de la Sancha et al., 2009; Goodin et al., 2009; Owen et al., 2010; Owen, 2013; de la Sancha et al., 2014).

### Índices de Diversidad

Los índices de diversidad de especies indicaron que en todo el periodo de muestreo para el grupo de los roedores el sitio con mayor diversidad fue el de perturbación alta según el índice de Shannon (1,27) y el sitio de perturbación baja según el índice de Simpson (0,43) (Tabla 2).

Para el grupo de los didélfidos debido que sola una especie fue registrada en el sitio con perturbación alta no se pudo indicar un valor para los índices de diversidad. Resultó así el sitio más diverso para los marsupiales el sitio con perturbación baja según el índice de Shannon (0,56) y el sitio con perturbación media para el índice de Simpson (0,18) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Índices de diversidad de Shannon y Simpson para los roedores y didélfidos en los tres sitios de estudio.

Índice de Diversidad	Sitios		
	Perturbación Baja	Perturbación Media	Perturbación Alta
<b>Roedores</b>			
Shannon	0,87	0,93	1,27
Simpson	0,43	0,45	0,61
<b>Didélfidos</b>			
Shannon	0,56	0,32	-
Simpson	0,29	0,18	-

### Patrones de riqueza, diversidad y abundancia

*Akodon montensis*, *Hylaeamys megacephalus*, *Oligoryzomys nigripes* y *Gracilinanus agilis* fueron especies encontradas en ambos años del estudio y en ambas épocas del año. Esto indicaría que estas especies serían más bien generalistas. Se encontrarían adaptadas a las características del ambiente, así como también a su vegetación en sitios que podrían presentar algún tipo de alteración (Percequillo et al., 2016; Carmignotto et al., 2015; Püttker et al., 2008). En estos sitios las especies encontrarían su alimento y refugio, lo cual se llegarían a convertir en sus áreas de acción.

Para los cálculos de las abundancias se utilizó dos métodos. El de MNKA, a pesar de ser un conteo sencillo, tiene la desventaja que la probabilidad de detección no se contabiliza como en los estimadores de la población llamados deterministas, donde las estimaciones tienen la suposición de probabilidad de detección teniendo en cuenta el tiempo, individuos y comportamiento lo cual es difícil de asumir en las poblaciones naturales. La detección se puede estimar con un historial de captura luego de una serie de captura marca y recaptura de individuos.

Entonces los modelos probabilísticos permiten estimar el tamaño de la población de individuos no marcados que el MNKA sencillamente ignora (Graipel et al., 2014). En este estudio se utilizaron ambos métodos.

Entre todos los sitios de estudio y en todos los periodos de muestreos, el sitio con perturbación media resultó más abundante en la estación seca del 2015. Sin embargo, el mayor índice de diversidad se registró en el sitio de perturbación alta y el menor índice de diversidad en el sitio con perturbación baja en la época lluviosa. El sitio con menor abundancia fue el de perturbación baja en la estación lluviosa del 2016. Este declive de abundancia y diversidad de especies de la estación seca a la estación lluviosa en este año podrían tener una

relación con el fenómeno de El Niño. Durante el 2015 las precipitaciones registradas han tenido un importante incremento en los meses de noviembre y diciembre como consecuencia del fenómeno El Niño (DINAC, 2016). La respuesta de las especies de micromamíferos a este fenómeno, pudo resultar en la disminución de la abundancia y riqueza observados en la época lluviosa (noviembre).

### Abundancia de pequeños mamíferos no voladores

El número de individuos registrados en todo el muestreo fue de 648, de los cuales el 64% corresponde a *Akodon montensis* (Figura 1) y el 16% a *Hylaeamys megacephalus* (Figura 2). La mayor abundancia relativa se registró para la especie



**Figuras 1-3.** Micromamíferos más abundantes durante el muestreo en la reserva Natural del Bosque Mbaracayú. 1) *Akodon montensis*. 2) *Hylaeamys megacephalus*. 3) *Gracilinanus agilis*.

*Akodon montensis* (>0,50) seguido de *Hylaeamys megacephalus* (>0,10). Ambas especies de roedores fueron las especies más conspicuas en todo el muestreo. Entre los didélfidos la especie con mayor abundancia relativa fue *Gracilinanus agilis* (>0,05) (Figura 3).

Las especies de roedores con bajas abundancias fueron *Calomys* sp., *Juliomys pictipes*, *Oecomys mamorae*, *Oligoryzomys flavescens*, *Rhipidomys macrurus* y *Rattus rattus* (única especie exótica encontrada). Entre los didélfidos fueron *Cryptonanus chacoensis*, *Monodelphis dimidiata* y *Marmosa paraguayana*. Todas juntas con solo 1% de ocurrencia en los dos años.

En la Tabla 3 se observa la presencia de las diferentes especies en cada uno de los sitios de muestreo, cada estación y por año. Las cuatro especies que estuvieron presentes en los dos años, en las tres parcelas y en las dos estaciones del año fueron *Akodon montensis*, *Hylaeamys megacephalus*, *Oligoryzomys nigripes*, *Oligoryzomys mottogrossae* y *Gracilinanus agilis*. Estas especies presentaron diferencias entre los distintos tipos de hábitats en cada año.

En *Akodon montensis* se observa que en el 2016 disminuye su abundancia. Para *Hylaeamys megacephalus* se observa una disminución de la estación seca a la lluviosa. Sin embargo, las dos especies de *Oligoryzomys* (*O. nigripes* y *O. mottogrossae*) fueron fluctuando en los tres tipos de hábitats durante los dos años, al igual que la especie de marsupial *Gracilinanus agilis*. La mayoría de las especies se encontraron en un solo tipo de hábitat y en un solo año del estudio.

En Paraguay, *Akodon montensis* es una especie común encontrada en los bosques, así también lo es por ejemplo en la zona de Misiones, Argentina donde es más frecuente en diversos ambientes, sin incluir los bordes de arroyos (Cirignoli et al., 2011; de la Sancha, 2014). En este estudio se observó que *A. montensis* estaba relacionado a hábitats de perturbación media en la estación seca. En este hábitat estaban presentes comunidades vegetales de árboles de gran porte hasta altura de 25 metros, arbustos hasta 3 metros de altura y con

predominio de gramíneas en el sotobosque.

En Lima et al. (2010) registraron una correlación positiva entre el número de capturas de *A. montensis* con la abundancia de bambú, pudiendo estar asociado a la protección contra los depredadores.

En contraste Goodin et al. (2009) indica que *A. montensis* es conocido por ser generalista en cuanto al hábitat, pero muestra preferencia por áreas boscosas semicaducifolias donde los estratos superiores son menos densos y la cobertura vegetal más densa cerca del suelo. La mayor abundancia de *A. montensis* registraron en los microhábitats que mostraban un grado de actividad antropogénica con mayor penetración de luz, pero donde el bosque nativo estaba aun sustancialmente intacto. Las áreas con densa vegetación y la superficie del suelo desnuda o con poca vegetación tenían menos probabilidades de estar asociadas con la presencia de *A. montensis* (Goodin et al., 2009). Sin embargo, Vieira (2015) encontró una fuerte asociación de *A. montensis* con la cobertura de bromelias. Esta asociación no se observó en este estudio ya que el predominio de bromelias se encontraba en el sitio de perturbación alta. En contraste Püttker et al. (2008) señalan a *A. montensis* como una especie no vulnerable a la fragmentación de los bosques

La segunda especie común fue *Hylaeamys megacephalus* que no demostró una preferencia en el hábitat, podría ser generalista ya que se encuentra en los bosques primarios, secundarios y degradados (Percequillo et al., 2016).

La especie *Oligoryzomys nigripes* estuvo presente en los cuatro periodos de muestreo del estudio. En la estación seca de los dos años, mostró asociación con el sitio de perturbación media. Podría deberse a características de la vegetación en esa época. Esta es una de las especies menos especialistas en cuanto a la alimentación, por lo tanto, podría ser generalista en lo referente al hábitat. En la estación seca, prefiere sitios más abiertos, también con algunos arbustos y árboles (Bonvicino et al., 2016). Se registró la presencia de *O. nigripes* asociado al dosel bajo y a un sotobosque denso en el Bosque Atlántico de Brasil, en zonas con vegeta-

**Tabla 3.** Abundancia relativa de micromamíferos no voladores en cada sitio, estación del año, y cada año de estudio

Taxón/Especies	Sitios			Estación		Año	
	Perturbación Baja	Perturbación Media	Perturbación Alta	Seca	Lluviosa	2015	2016
<b>Orden Rodentia</b>							
<b>Familia Cricetidae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subfamilia Sigmodontinae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Akodon montensis</i>	0,69	0,69	0,53	0,58	0,7	0,69	0,54
<i>Calomys callosus</i>	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	-
<i>Calomys</i> sp.	-	-	0,00	0,00	-	0,00	-
<i>Hylaeamys megacephalus</i>	0,13	0,14	0,21	0,18	0,12	0,14	0,18
<i>Juliomys pictipes</i>	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00
<i>Necomys lasiurus</i>	-	0,00	-	0,00	0,00	0,00	-
<i>Oecomys mamorae</i>	-	0,00	-	-	0,00	-	0,00
<i>Oligoryzomys flavescens</i>	-	-	0,00	0,00	-	-	0,00
<i>Oligoryzomys mato Grossoe</i>	0,01	0,01	0,04	0,03	0,00	0,01	0,04
<i>Oligoryzomys nigripes</i>	0,00	0,00	0,07	0,09	0,07	0,07	0,09
<i>Rhipidomys macrurus</i>	0,00	-	-	0,00	-	-	0,00
<i>Sooretamys angouya</i>	0,00	0,00	0,01	-	0,02	0,00	0,02
<b>Familia Muridae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subfamilia Murinae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rattus rattus</i>	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-
<b>Orden Didelphimorphia</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Familia Didelphidae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Subfamilia Didelphinae</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tribu Thylamyini</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptonanus chacoensis</i>	-	0,00	-	-	0,00	0,00	-
<i>Gracilinanus agilis</i>	0,04	0,03	0,07	0,06	0,03	0,03	0,07
<b>Tribu Marmosini</b>	-	-	-	-	-	-	-
<i>Marmosa paraguayana</i>	0,00	-	-	0,00	-	-	-
<i>Monodelphis dimidiata</i>	0,00	-	-	-	0,00	-	0,00

ción característica de un bosque perturbado (Lima et al., 2010; Püttker et al., 2008). Se considera a *O. nigripes* como una especie no vulnerable a la fragmentación de los bosques (Püttker et al., 2008).

En cuanto a los marsupiales, *Gracilinanus agilis* resultó más común dentro del grupo de los didélfidos. Los marsupiales presentan un mayor consumo de frutos en la época seca en zonas del Bosque Atlántico en el Sudeste de Brasil, ya que disminuye la cantidad de invertebrados en esa temporada. Este aumento en el consumo de frutos en la estación seca también podría compensar la falta de agua en esa época para *G. agilis* en el Cerrado del Centro de Brasil (Pinheiro et al., 2002; Carmargo et al., 2011). En Mato Grosso do Sul-Brasil se observó que la población de *G. agilis* presentó fluctuación marcadamente estacional, con una alta concentración de la especie en la estación lluviosa. Sin embargo, presentó mayor tamaño poblacional al inicio de la estación seca (Milano, 2007). Se presume que *G. agilis* tiene tolerancia a algún grado de modificación del hábitat (Carmignotto et al., 2015). En esta investigación se observó que *G. agilis* fue fluctuando de igual manera durante todos los periodos de muestreos en las diferentes estaciones del año y asociado a los tres niveles de perturbación.

### Especies raras

Es importante mencionar que se han encontrado especies raras, las cuales son aquellas especies difíciles de detectar, o las cuales existen en poblaciones muy reducidas naturalmente. Las que tuvieron menos del 1% de ocurrencia fueron *Calomys* sp., *Juliomys pictipes*, *Oecomys mamorae*, *Oligoryzomys flavescens*, *Necomys lasiurus*, *Rattus rattus*, *Rhipidomys macrurus*, *Cryptonanus chacoensis*, *Monodelphis dimidiata* y *Marmosa paraguayana*.

*Rattus rattus* fue la única especie exótica registrada en la unidad de muestreo que se encontraba a 2 km de la administración de la Reserva. La mínima distancia que se encuentra a establecimientos humanos podría facilitar la presencia del género *Rattus* en esa zona de estudio correspondiente a un área natural (Lobos et al., 2005).

Las especies del género *Juliomys* al parecer son raras en los muestreos de las comunidades de mamíferos pequeños (Costa et al., 2007; Pardiñas et al., 2008). *Juliomys pictipes*, se considera una especie rara endémica del Bosque Atlántico (de la Sancha et al., 2009). En este estudio se lo encontró en la parcela B de perturbación baja, donde se registró en el estrato arbustivo la especie *Sorocea bonplandii*. Pardiñas et al. (2008) lo vieron asociado entre otras especies a *Sorocea ilicifolia* (sinónimo de *bonplandii*). Esto indicaría que *J. pictipes* puede estar relacionado a esta especie del género *Sorocea*. Para una zona de la Mata Atlántica de Brasil, la especie *J. pictipes* se registró en bosques nativos y con menor frecuencia en bosques secundarios (Pardini y Umetsu, 2006).

Además, es importante mencionar que las especies consideradas anteriormente comunes del Chaco o Cerrado, como *Cryptonanus chacoensis* y especies del género *Calomys* fueron encontrados en fragmentos boscosos (de la Sancha, 2014). Debido a este factor pudieron resultar escasas en el muestreo realizado en este estudio, ya que la ocurrencia común de estas especies sería de otras ecorregiones. Se observó que la especie de *Calomys callosus* se encontró en el hábitat con perturbación alta en el 2015, el único año que se registraron *Calomys callosus* y *Calomys* sp. Estas son especies que habitan en formaciones vegetales abiertas (pastizales) y son comunes en áreas perturbadas (Santos-Filho et al., 2012; Dunnun et al., 2016) concordando a la asociación observada con el sitio de perturbación alta de este muestreo.

Las especies raras fueron, con 1% de ocurrencia *Calomys callosus* y *Sooretamys angouya*. Owen (2000) denomina a una especie "rara por sitio" a la que se encuentra en uno o pocos sitios, a pesar de que la especie pueda encontrarse en grandes cantidades. En contraste, la rareza general significaría que puede ser encontrada en varios o muchos sitios, pero nunca en grandes cantidades (Owen, 2000). Así mismo, las especies raras en este estudio serían específicas de ciertos sitios donde fueron encontradas en menor proporción, exhibiendo tanto rareza general y rareza por sitio.

### Efectos de caracteres vegetales y degradación

Las asociaciones entre comunidades de micromamíferos y comunidades vegetales, indicarían preferencia hacia los diferentes tipos de microhábitats por parte de los micromamíferos. Estas preferencias podrían ser un factor considerable que influye en los pequeños mamíferos para habitar zonas que pueden estar alteradas (Püttker et al., 2008, Lima et al., 2010). Sin embargo, el estado de conservación de las especies de micromamíferos de la zona de estudio se encuentran dentro de la categoría de Preocupación menor (LC) según la lista roja de la UICN (2009). Esto podría deberse a que se reproducen rápidamente y tienen un ciclo de vida relativamente corto. De igual manera, la alteración de los bosques y hábitats de pequeños mamíferos podría poner en riesgo a las especies más sensibles sobre todo de marsupiales.

Las comunidades vegetales son principalmente importantes para las comunidades de micromamíferos que se encuentran interaccionando en los diferentes sitios de la Reserva. La alteración o perturbación del bosque puede llegar a intervenir con el desequilibrio temporal de las poblaciones y comunidades de pequeños mamíferos (Pardini y Umetsu, 2006). Las especies consideradas no vulnerables a la fragmentación se asocian a zonas con características de la vegetación de un bosque más perturbado. En cambio, las especies vulnerables a la fragmentación se encontrarían en áreas con características de los bosques primarios (Püttker et al., 2008). Estos patrones se observaron en este estudio ya que se encontraron especies más asociadas a áreas perturbadas y otras especies en zonas de perturbación baja. De la Sancha (2014) encontró patrones similares en la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú con los bosques mega diversos como el Amazonas. Sin embargo, a pesar de ser uno de los fragmentos de bosques más grandes del BAAPA, Mbaracayú mostró considerables números bajos de muestra para pequeños mamíferos comparando con otros fragmentos. Así mismo en la Amazonía peruana se llegó a reportar números de capturas extremadamente bajas para micromamíferos no voladores, es decir en bosques vírgenes (Hice y

Velazco, 2012; de la Sancha, 2014).

En este estudio también se registraron bajos números de muestras sobre todo en marsupiales y algunos roedores a pesar de que el esfuerzo de muestreo invertido fue considerable. Podría deberse a las variables estudiadas que marcan diferencia entre los muestreos realizados. Sin embargo, podría ser un patrón seguido para los bosques de grandes fragmentos como el Bosque del Mbaracayú.

### CONCLUSIÓN

Los roedores y didélfidos están conviviendo en los tres tipos de perturbación del hábitat donde fueron estudiados dentro de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú. Las relaciones que existen entre los micromamíferos no voladores (Rodentia y Didelphimorphia) con la estructura de la vegetación y el grado de perturbación del bosque en la Reserva se observa sobre todo en las especies más abundantes que son *Akodon montensis* y *Hylaeamys megacephalus*. Estas especies de roedores se adaptan a los diferentes grados de perturbación por ende son las más conspicuas.

Sin embargo, las cuatro especies que resultaron estar presente en los dos años de estudio y en las dos estaciones de cada año fueron *A. montensis*, *H. megacephalus*, *Oligoryzomys nigripes* y *Gracilinanus agilis*.

Se inventariaron 17 especies de micromamíferos no voladores encontrados en la Reserva, en los sitios de muestreo con 1078 capturas. Del total 13 especies son del Orden Rodentia, y 4 especies del Orden Didelphimorphia.

Corresponden al 36% de especies de roedores del Paraguay, y 36% para los marsupiales. El número de individuos registrados en todo el muestreo fue de 648, de los cuales el 64% corresponde a *Akodon montensis* y el 16% a *Hylaeamys megacephalus*. Se encontraron 12 especies de cricétidos y 1 especie de múrido en todo el muestreo, relacionados en los diversos sitios estudiados junto a las 4 especies de didélfidos. *Rattus rattus* fue la única especie de la Familia Muridae y la única especie exótica encontrada, se encontró en la parcela con perturbación media, es decir la característica de la vegetación de

este sitio le resulta favorable lo que sugiere que se adaptaría de igual manera a los sitios con alta o baja perturbación pudiendo desplazar a otras especies del lugar. Sin embargo, a modo de recomendación realizar un estudio en el futuro ya que solo un ejemplar no evidencia lo supuesto anteriormente.

En cuanto a los didélfidos se encontraron en escasa cantidad sólo 4 especies en donde *Gracilinanus agilis* podría estar adaptado a los diferentes grados de perturbación del hábitat, ya que se lo encontró en las tres parcelas estudiadas los dos años y en las dos épocas del año. La subfamilia registrada fue Didelphinae representada por dos Tribus: Thylamyini donde se encuentran las especies *Cryptonanus chacoensis* y *Gracilinanus agilis* y la tribu Marmosini que incluye a las especies *Marmosa paraguayana* y *Monodelphis dimidiata*.

El sitio con mayor riqueza resultó ser el de perturbación media, en la estación seca y lluviosa del año 2015 con 8 especies encontradas en cada estación. Sin embargo, en el 2016, se registró en el mismo sitio la menor cantidad de especies con 5 especies en cada estación. La parcela con perturbación baja en los dos años resultó ser el hábitat con mayor índice de dominancia en la estación lluviosa y menor índice de biodiversidad en la misma estación.

Se sugiere la actualización del Plan de Manejo de la Reserva teniendo en cuenta que no están registradas las especies de didélfidos encontradas aquí a excepción de *Gracilinanus agilis*. En cuanto a los roedores se agregarían la mayoría de las especies raras encontradas en este estudio como *Sooretamys angouya*, *Oligoryzomys mattogrossae*, *Oligoryzomys flavescens*, *Oecomys mamorae*, *Rhipidomys macrurus* y *Juliomys pictipes*.

Actualizando los inventarios de especies como los sugeridos en este trabajo, se potenciaría la conservación de dichas especies. Sería importante proteger estos espacios vitales no solo para la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú, sino para toda la Ecorregión.

Los miembros de la Familia Cricetidae fueron los más numerosos en todo el muestreo, en donde se encuentran *Akodon montensis* y *Hylaeamys megacephalus*. Entre la Familia Didelphidae, la

especie con más ocurrencia fue *Gracilinanus agilis*, encontrado en todas las estaciones de los dos años de muestreo.

## AGRADECIMIENTOS

Robert Owen. A la *Texas Tech University*, por la oportunidad brindada a través de la beca ofrecida para la realización de esta investigación y al *National Institute of Health* (NIH, EE.UU.) (I103053) y NIH R01 TW006986-01 a través del Programa de Ecología de Enfermedades Infecciosas de NIH-NSF.

## LITERATURA CITADA

- Aragón, E.E., Garza, A. & Cervantes, F.A. (2009). Estructura y organización de los ensamblajes de roedores de un bosque de la Sierra Madre occidental, Durango, México. *Revista Chilena de Historia Natural*, 82(4).523–542.
- Avenant, N.L. (2000). Small mammal community characteristics as indicators of ecological disturbance in the Willem Pretorius Nature Reserve, Free State, South Africa. *South African Journal of Wildlife Research*, 30(1) 26–33.
- Bonvicino, C., D'elia, G. & Teta, P. (2016). *Oligoryzomys nigripes*. *Lista Roja de la UICN de Especies Amenazadas 2016*: e.T15253A22358209. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016.RLTS.T15253A22358209.en>. Consultado el 22 de abril de 2017.
- Camargo, N.F., Cruz, R.S., Ribeiro, J.F. & Vieira, E.M. (2011). Frugivoria e potencial dispersão de sementes pelo marsupial *Gracilinanus agilis* (Didelphidae: Didelphimorphia) em áreas de Cerrado no Brasil central. *Acta Botanica Brasílica*, 25(3), 646-656. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062011000300018>
- Carmignotto, A.P., Solari, S., De La Sancha, N. & Costa, L. (2015). *Gracilinanus agilis*. *Lista Roja de la UICN de Especies Amenazadas 2015*: e.T9417A22169828.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015.RLTS.T9417A22169828.en>. Consultado el 22 de

- de abril de 2017.
- Cirignoli, S., Galliari, C., Pardiñas, U.F.J., Podestá, D.H. & Abramson, R. (2011). Mamíferos de la reserva Valle del Cuña Pirú, Misiones, Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 18: 25–43.
- Costa, L.P., Pavan, S.E., Leite, Y.L.R. & Fagundes, V. (2007). A new species of *Juliomys* (Mammalia: Rodentia: Cricetidae) from the Atlantic Forest of southeastern Brazil. *Zootaxa*, 1463: 21-37.
- Chu, Y K., Owen, R.D., Gonzalez, L.M. & Jonsson, C.B. (2003). The Complex Ecology of Hantavirus in Paraguay. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 69(3): 263–268
- Chu, Y K., Milligan, B., Owen, R.D., Goodin, D.G. & Jonsson, C.B. (2006). Phylogenetic and Geographical Relationships of Hantavirus Strains in Eastern and Western Paraguay. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 75(6): 1127–1134
- De La Sancha, N.U. & D'elia, G. (2015). Additions to the Paraguayan mammal fauna: the first records of two marsupials (*Didelphimorphia*, *Didelphidae*) with comments on the alpha taxonomy of *Cryptonanus* and *Philander*. *Mammalia*, 79(3): 343–356
- De La Sancha, N.U., Pérez Estigarribia, P. E., McCulloch, E. S. & Boyle, S. (2014). Micromamíferos. In: Velázquez, M. C. y Ramírez Pinto, F. *Guía de los mamíferos de la Reserva Natural Tapytá*. Asunción, Paraguay: Fundación Moisés Bertoni. 127 pp.
- De La Sancha, N.U. (2014). Patterns of small mammal diversity in fragments of subtropical Interior Atlantic Forest in eastern Paraguay. *Mammalia*, 78: 437–449.
- De La Sancha, N., D'elia, G., Netto, F., Pérez, P. & Salazar-Bravo, J. (2009). Discovery of *Juliomys* (Rodentia, Sigmodontinae) in Paraguay, a new genus of Sigmodontinae for the country's Atlantic Forest. *Mammalia*, (73): 162–167 doi 10.1515/MAMM.2009.026
- Article in press - uncorrected proof 2009/26
- D'elia, G. & Pardiñas, U.F.J. (2015). Subfamily Sigmodontinae (Wagner, 1843). Pp. 63-688 In: Patton, J.L., Pardiñas, U.F.J., D'Elia, G. 2015. *Mammals of South America*. Rodents. Vol 2. The University of Chicago. Press Chicago and London. 1043 p
- Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC): Dirección de Meteorología e Hidrología. (2016). *El Episodio de El Niño 2015/16 Excepcionalmente intenso: efectos en Paraguay*. Gerencia de Climatología e Hidrología. 11p
- Dunnum, J., Vargas, J., Bernal, N., D'elia, G., Pardiñas, U. & Teta, P. (2016). *Calomys callosus*. *Lista Roja de la UICN de Especies Amenazadas 2016*:T3611A22334720.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016.RLTS.T3611A22334720.en> Consultado el 22 de de abril de 2017.
- FMB/BM. (2005). *Reserva Natural del Bosque Mbaracayú: Plan de Manejo 2005-2010*. Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de Naturaleza (FMB). Banco Mundial (BM), ed., Asunción, Paraguay. 212 p
- Gardner, A.L. (2007). *Mammals of South America, Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats*. Volume 1. T. U. of C. Press, ed., 690 p
- Goodin, D G., Paige, R., Owen, R.D., Ghimire, K., Koch, D. E., Chu, Y. K. & Jonsson, C. B. (2009). Microhabitat characteristics of *Akodon montensis*, a reservoir for hantavirus, and hantaviral seroprevalence in an Atlantic forest site in eastern Paraguay. *Journal of Vector Ecology*, 34: 104–113. doi:10.1111/j.1948-7134.2009.00013.x
- Graipel, M.E., Hernández, M. & Salvador, C. (2014). Evaluation of abundance indexes in open population studies: a comparison in populations of small mammals in southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*.74( 3) 553-559.
- Hice, C.L. & Velazco, P.M. (2012). *The non-volant mammals of the Reserva Nacional Allpahuayo-Mishana, Loreto, Peru*. Special

Recibido: 27/11/2017 Aceptado: 26/11/2018



- Publications Museum of Texas Tech University. Texas Tech University, Lubbock, Texas. pp. 1–135.
- Lima, D.O.De., Azambuja, B.O., Camilotti, V.L. & Cáceres, N.C. (2010). Small mammal community structure and microhabitat use in the austral boundary of the Atlantic Forest, Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, 27(1), 99-105. <https://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702010000100015>
- Lobos, G., Ferres, M. & Palma, R. (2005). Presencia de los géneros invasores *Mus* y *Rattus* en áreas naturales de Chile: un riesgo ambiental y epidemiológico. *Revista Chilena de Historia Natural*, 78: 113-124.
- Lopez-González, C., Myers, P., De La Sancha, N., D'elia, G. & Valdéz, L. (2014). Historia de la mastozoología en Paraguay. In: J. Ortega, J. L. Martinez, D. G. Tirira, eds. *Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe*. Ed. Murciélagos Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología Quito. 345-358.
- López-González, C. (2005). *Murciélagos del Paraguay*. Publicaciones del Comité Español del Programa Hombre y Biosfera Red IberoMaB, UNESCO. 300 p.
- Milano, M. (2007). *Ecologia da comunidade de pequenos mamíferos da floresta estacional aluvial da RPPN cabeceira do prata, Região Da Serra Da Bodoquena, Estado Do Mato Grosso Do Sul*. Tesis (Msc). Curitiba, Brasil: Ecologia e Conservação. Universidade Federal Do Paraná. 67 p.
- Owen, R.D. (2013). Ecology of Small Terrestrial Mammals in an Isolated Cerrado Patch, Eastern Paraguay: Communities, Species, and Effects of ENSO, Precipitation, and Fire. *Mastozoología Neotropical*. Mendoza, 20(1):97-112. Version impresa ISSN 0327-9383. Version on-line ISSN 1666-0536
- Owen, R.D., Goodin, D.G., Koch, D.E, Chu, Y. & Jonsson, C.B. (2010). Spatiotemporal variation in *Akodon montensis* (Cricetidae: Sigmodontinae) and hantaviral seroprevalence in a subtropical forest ecosystem. *Journal of Mammalogy*, 91(2):467–481.
- Owen, R.D. (2000). La importancia de los inventarios cuantitativos en la conservación de la fauna silvestre. Pp. 15-28. In: *Manejo de Fauna Silvestre en Amazonia y Latinoamérica*. Cabrera, E., Mercolli, C., Resquin, R. 2000. Fundación Moisés Bertoni, Asunción, Paraguay. 577 p
- Pardini, R. & Umetsu, F. (2006). Pequenos mamíferos não-voadores da Reserva Florestal do Morro Grande—distribuição das espécies e da diversidade em uma área de Mata Atlântica. *Biota Neotropica*, 6: 1–22.
- Pardiñas, U.F.J., Teta, P., D'elia, G. & Galliari, C. (2008). Rediscovery of *Juliomys pictipes* (Rodentia: Cricetidae) in Argentina: emended diagnosis, geographic distribution, and insights on genetic structure. *Zootaxa*, 1758: 29-44.
- Percequillo, A., Patton, J., Pires-Costa, L., D'elia, G. & Patterson, B. (2016). *Hylaeamys megacephalus*. En: *La Lista Roja de la UICN de Especies Amenazadas 2016*: eT29403A22327685. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016.RLTS.T29403A22327685.en> Consultado el 22 de de abril de 2017.
- Pinheiro, P.S., Carvalho, F.M.V., Fernandez, F.A.S. & Nessimian, J.L. (2002). Diet of the marsupial *Micoureus demerarae* in small fragments of Atlantic Forest in Southeastern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 37: 213-218
- Püttker, T., Pardini, R., Meyer-Lucht, Y. & Sommer, S. (2008). Responses of five small mammal species to micro-scale variations in vegetation structure in secondary Atlantic Forest remnants, Brazil. *BioMed Central Ecology*, 8: (9).
- Santos-Filho, M., Frieiro-Costa, F., Ára, I. & Silva, M.N.F. (2012). Use of habitats by non-volant small mammals in Cerrado in Central Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 72(4), 893-902. <https://dx.doi.org/10.1590/S1519->

69842012000500016

- Smith, P. (2006). *Fauna Paraguay. List of the Mammals of Paraguay* (en línea). Paraguay. Consultado 1 junio 2016. Disponible en <http://www.fauparaguay.com/list-mammals.html>.
- UICN. (2009). The UICN species survival Commission 2009 (en línea). *The UICN Red List of Threatened Species*. Consultado abril 2017. Disponible en [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).
- Vieira, P.B.A. (2015). *Uso de Habitat de Pequenos Mamíferos não Voadores em Florestas de Restinga do Nordeste de Santa Catarina, Brasil*. Trabajo de Tesis. Universidade da Região de Joinville. SC, Brasil. 46 pp.
- Voss, R., & Jansa, S. (2009). Phylogenetic Relationships and Classification of Didelphid Marsupials, An Extant Radiation of New World Metatherian Mammals. *Bulletin of The American Museum of Natural History*, 322: 177 pp.

## Características poblacionales de *Akodon montensis* en diferentes calidades de su hábitat, y características del microhábitat relacionadas a su presencia en el Bosque Atlántico Interior de Paraguay

### Population characteristics of *Akodon montensis* in different qualities of its habitat, and characteristics of the microhabitat related to its presence in the Interior Atlantic Forest of Paraguay

Julieta P. Sánchez M.

Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN). Email: julisanmar@gmail.com

**Resumen:** *Akodon montensis*, un persistente hospedero para el *Hantavirus*, es una especie de roedor bastante común en bosques primarios y secundarios, considerándose una especie generalista. Determinar los factores ambientales con los que se relaciona ayudaría a analizar cómo la calidad del hábitat afecta a la abundancia y densidad de la misma. Se realizaron tres pares de parcelas de captura-marca-recaptura, clasificados en tres niveles de perturbación y se muestrearon por 5 noches. Los resultados muestran que en perturbaciones más altas hay un promedio menor de abundancia (38 individuos) en comparación con la perturbación más baja (64 individuos), ocurriendo lo mismo con la densidad. Así mismo, se relaciona con características del microhábitat con menor degradación. A pesar de ser considerada una especie generalista, *A. montensis* responde de manera variada a los diferentes cambios (perturbaciones) que pueden ocurrir en el hábitat, observándose que tiende a verse afectada negativamente por las perturbaciones altas.

**Palabras clave:** abundancia, densidad, poblaciones, roedor generalista, perturbación del hábitat.

**Abstract:** *Akodon montensis*, a persistent host for Hantavirus, is a common rodent species in primary and secondary forests, and is considered to be a generalist species. Determining the environmental factors which affect it would help to evaluate how habitat quality affects the species' abundance and density. Three pairs of mark-recapture grids were established, classified into three disturbance levels, and sampled for five nights. The results show that in higher disturbances there is a lower average abundance (38 individuals) compared to the lowest disturbance (64 individuals), and the same is true for population density. Similarly, it is encountered more frequently in microhabitat with less degradation. Despite being considered a generalist species, *A. montensis* responds in varied ways to the different changes (disturbances) that may occur in the habitat, although it tends to be negatively affected by high disturbances.

**Key words:** abundance, Atlantic Forest, density, generalist rodent, habitat disturbance, microhabitat.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los bosques tropicales han sufrido grandes cambios debido a las actividades humanas, cambios que han producido fragmentaciones o transformaciones de los hábitats naturales, provocando un gradiente de hábitats que favorecen a especies de roedores reservorios de enfermedades. Se ha observado que estos animales son abundantes y frecuentes en matrices seminaturales donde ocurren actividades humanas, paisajes en mosaico y agricultura intensiva (Suzán et al., 2008; Goodin et al., 2006). De forma general, los ensamblajes de pequeños mamíferos se ven ampliamente afectados

por estas alteraciones, ocasionando una disminución en la diversidad o abundancia de los mismos y favoreciendo en gran medida a aquellas especies generalistas o de amplia distribución, provocando a su vez un empobrecimiento de la diversidad (Cebollada Pütz et al., 2012; Santos-Filho et al., 2012; García-Estrada et al., 2015).

En las décadas de los 80 y 90, la extensión de los bosques en el mundo sufrió disminuciones importantes, y a lo largo de 15 años se ha registrado una pérdida de casi 200 millones de hectáreas de bosques naturales en países en desarrollo, principalmente ocasionados por el desmonte para fines agrí-

Recibido: 02/04/2018 Aceptado: 07/11/2018



colas. En las últimas dos décadas, América Central y del Sur han disminuido su superficie forestal, y la principal causa considerada fue la transformación de las mismas a la agricultura y urbanización, previéndose que estas transformaciones seguirán constantes debido a que la agricultura es la actividad más accesible para países en desarrollo, como los de América Latina (FAO 1997; FAO 2011).

El Bosque Atlántico ha sufrido una deforestación ininterrumpida, dejando menos del 8% de su extensión original hoy (Galindo-Leal & de Gusmão Câmara, 2003). En el caso particular de Paraguay, la mayor superficie boscosa en la Región Oriental es el Bosque Atlántico del Alto Paraná, y esta ha sufrido grandes pérdidas en las últimas décadas, registrándose las mayores superficies deforestadas en el Depto. de San Pedro, con cifras que alcanzan aproximadamente 3.979 hectáreas, y en el Depto. de Canindeyú con 2.690 hectáreas, entre los años 2013 y 2014 (WWF Paraguay, 2014).

La especie *Akodon montensis* (Thomas, 1913), es una especie de roedor bastante común en hábitats de bosque primario y secundario, y se lo ha encontrado cerca de bordes de cultivos y pastizales abiertos, siendo así una especie bastante generalista (Ernmons & Feer, 1990). Además, es una especie que se encuentra frecuentemente en hábitats perturbados (D'Elía & Pardiñas, 2015) y ha sido identificado como un persistente hospedero para el *Hantavirus* en el Bosque Atlántico Interior del este de Paraguay (Chu et al., 2009 Oliveira et al., 2014).

Los estudios presentan resultados variados en cuanto a la relación que pueda presentar con los diferentes factores ambientales, observándose por ejemplo que la abundancia y el movimiento o inmigración no se ven afectados por la pérdida de cobertura de los bosques ni por la fragmentación de los mismos, en comparación con especies más especialistas (Püttker et al., 2013). También se observó que en el Bosque Atlántico de Brasil se relaciona positivamente con diferentes características como helechos terrestres y troncos caídos (Melo et al., 2013), mientras que en algunos bosques secundarios no presenta aparente relación con alguna de

las variables estudiadas del paisaje (Püttker et al., 2008a). En el Bosque Atlántico al este de Paraguay, se encontró que *A. montensis* se relaciona positivamente con herbáceas, bromeliáceas y arbustos leñosos, así como también con el dosel presente en los sitios estudiados (Goodin et al., 2009).

La relación que pueda existir entre los diferentes factores ambientales que hacen a los diferentes hábitats y microhábitats y la presencia de *Akodon montensis*, ayudaría a comprender mejor los factores relacionados a la abundancia y densidad de los individuos en el hábitat, y cómo afecta a su presencia los diferentes niveles de degradación de la vegetación que puedan presentarse en su entorno. Es así que el objetivo de este trabajo es determinar los factores ambientales de microhábitat relacionados con la presencia de *Akodon montensis*, y también analizar cómo la calidad del hábitat, clasificado en niveles de perturbación, afecta a la abundancia y densidad de los individuos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

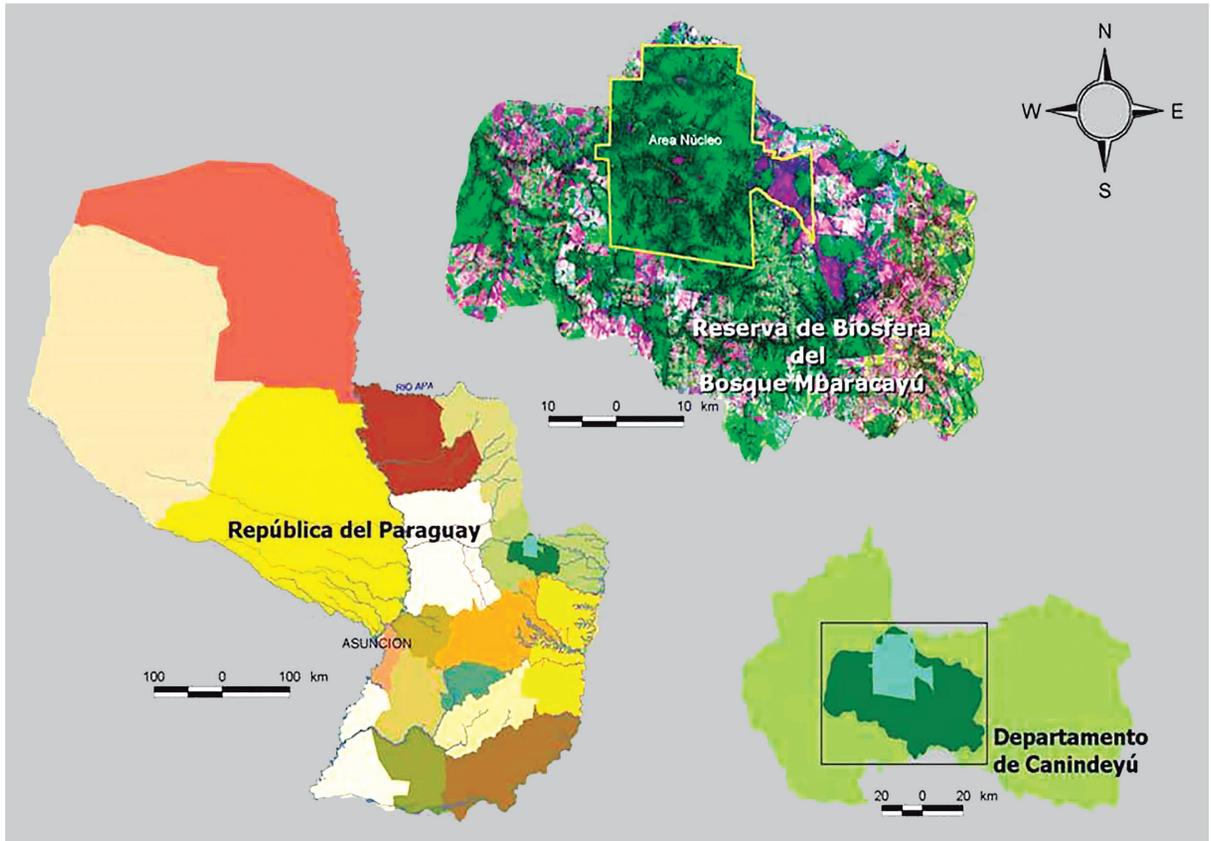
### Área de estudio

La Reserva Natural del Bosque Mbaracayú (RNBM) se localiza al noreste de la Región Oriental del Paraguay, en el Departamento de Canindeyú, y constituye el Área Nucleo de la Reserva de Biósfera Mbaracayú (Figura 1). La misma posee 64.405,7 hectáreas que se encuentran en un área de transición entre las ecorregiones Bosque Atlántico Interior y Cerrado (FMB/BM, 2005).

Debido al aumento de las actividades agropecuarias y forestales, y la falta de control y planificación, estas actividades han favorecido la deforestación en la Región Oriental, llegándose a registrar una tasa de 600 hectáreas por año en la zona de influencia de la RNBM en el periodo 1997 – 2002 (FMB/BM, 2005).

### Datos de vegetación y selección de las parcelas

Las parcelas utilizadas fueron seleccionadas en base a líneas de estudios previos, donde se encontraron roedores seropositivos para anticuerpo contra *Hantavirus*. Se colocaron seis parcelas de 12x12 estaciones, y cada estación fue localizada y ubicada



**Figura 1.** Ubicación de la Reserva de Biósfera del Bosque Mbaracayú. Canindeyú, Paraguay. En “Reserva de Biósfera Bosque del Mbaracayú” (Fleytas, 2008).

utilizando un GPS calibrado en UTM. Cada estación fue identificada con una letra y un número, y se encontraron separadas por 10 metros de distancia. Dos trampas Sherman fueron colocadas en el suelo en cada estación (Figura 2).

Las parcelas se evaluaron en base a las características estructurales de la vegetación que fueron medidos en cada estación, y seis características se incluyeron en los análisis, por ser importantes descriptores tanto de la calidad del bosque como del hábitat de los roedores: restos de madera en el suelo, la altura máxima del dosel, la distancia a los árboles más cercanos, porcentaje de cobertura de hierbas, árboles caídos cercanos y la presencia de árboles de naranja (una especie invasiva, indicación de degradación del bosque). Estos descriptores indican que los hábitats perturbados se relacionan con mayor porcentaje de cobertura de

hierbas, presencia de árboles de naranja y árboles caídos cercanos, mientras que los hábitats menos perturbados se relacionan con mayor presencia de restos de madera en el suelo, mayor altura del dosel y distancias menores entre los árboles cercanos a cada estación.



**Figura 2.** Trampa Sherman en una estación de muestreo identificada con una letra y un número.



**Figura 3.** Colocación del microchip (izq.) y lectura del mismo (der.) para identificar a los individuos.

Los promedios de estos datos fueron analizados mediante Principal Component Analysis (PCA) with Minimum Spanning Tree, y sobre la base de estos análisis se designaron 3 pares de parcelas de acuerdo a la calidad del hábitat, definidos en términos de perturbación: B y H (menos perturbado), A y D (medio perturbado), y C y G (más perturbado).

#### Diseño de muestreo y análisis de datos

El método utilizado fue el de captura-marca-recaptura para coleccionar los datos de los roedores y a cada individuo se le colocó un microchip subdérmico para su posterior identificación (Figura 3). Se anotaron los siguientes datos de cada individuo capturado: identificación específica, peso, sexo, edad y estado reproductivo (Figura 4). También se tomaron muestras de sangre, saliva, orina y heces para medir los niveles de anticuerpo contra *Hantavirus*. Se tomó muestra de la punta de la cola,



**Figura 4.** Pesaje (izq.) e identificación (der.) de un ejemplar de *A. montensis*.

**Tabla 1.** Regresiones simples de número de capturas de ratones vs. variables ambientales de todas las estaciones.

Variable	Pendiente	Valor P	Varianza explicada (%)
1er estrato	0,503	0,000	2,6
Suelo desnudo	-0,040	0,014	1,1
Herbáceas	0,010	0,023	0,7
Plantas leñosas	-0,009	0,251	0,2
Pastos	0,000	0,88	0,0
Hojasca	-0,005	0,098	0,3
Madera muerta	0,008	0,053	0,5
Porcentaje de apertura	-0,002	0,565	0,0
2do. Estrato	0,061	0,116	0,3
3er. Estrato	0,025	0,98	0,0
4to. Estrato	-0,002	0,747	0,0
Dosel máximo	0,010	0,412	0,1

aproximadamente 1-2mm, para realizar pruebas que ayuden a corroborar la identificación específica del roedor.

Cada parcela fue muestreada por cinco noches seguidas, realizándose un esfuerzo de captura de 1.440 trampas-noche en cada parcela, durante los meses de Junio y Julio del año 2015.

La estimación de la abundancia en los diferentes niveles de perturbación se calculó por el método de captura-marca-recaptura de individuos vivos aplicando modelos que trabajan con poblaciones cerradas. El mismo se realizó con el software de estimación MARK. La estimación de la densidad poblacional, se calculó dividiendo la abundancia por el área efectiva de trampeo (Schnell et al., 1980). Se determinó la relación que pueda existir entre las diferentes variables del hábitat y la preferencia de la especie analizando los datos mediante regresiones simples y múl-

tiples en el programa R utilizando los paquetes Rcmdr y BiodiversityR. Se utilizaron datos de presencia/ausencia como rasgos de preferencia de los individuos en cada estación y así relacionarlos con los datos de vegetación de cada una. Para determinar si las abundancias y densidades fueron diferentes entre los niveles de perturbación, se realizó un análisis de t de Student.

## RESULTADOS

Las regresiones simples mostraron una relación positiva de la abundancia con la altura del primer estrato ( $P=0,000$ ) y con las herbáceas ( $P=0,023$ ), y una relación negativa con el suelo desnudo ( $P=0,014$ ) (Tabla 1). Las regresiones múltiples con estas tres variables resultaron en una varianza explicada del 8,2% (Tabla 2).

Entre los diferentes niveles de perturbación, según las pruebas t de Student las abundancias no mostraron diferencias significativas, con valores de  $P \geq 0,05$ . Se presentaron en los diferentes niveles de perturbación: parcelas con perturbación baja 64,0 individuos, parcelas con perturbación media 48,5 individuos y las parcelas con perturbación alta 43,5 individuos (Figura 5).

En cuanto a la densidad, las pruebas t de Student no mostraron diferencias significativas, con valores de  $P \geq 0,05$ . Las parcelas con perturbación baja mostraron un promedio de densidad de 21,8 ind/ha, parcelas con perturbación media 15,8 ind/ha, y ambas parcelas con perturbación alta 8,6 ind/ha (Figura 5).

**Tabla 2.** Regresión múltiple de número de capturas de ratones vs. variables ambientales de todas las estaciones.

Variable	Pendiente (beta)	Valor P
Herbáceas	0,021	0,000
1er estrato	0,472	0,000
Suelo desnudo	-0,025	0,126
<b>Varianza explicada</b>		<b>8.2%</b>

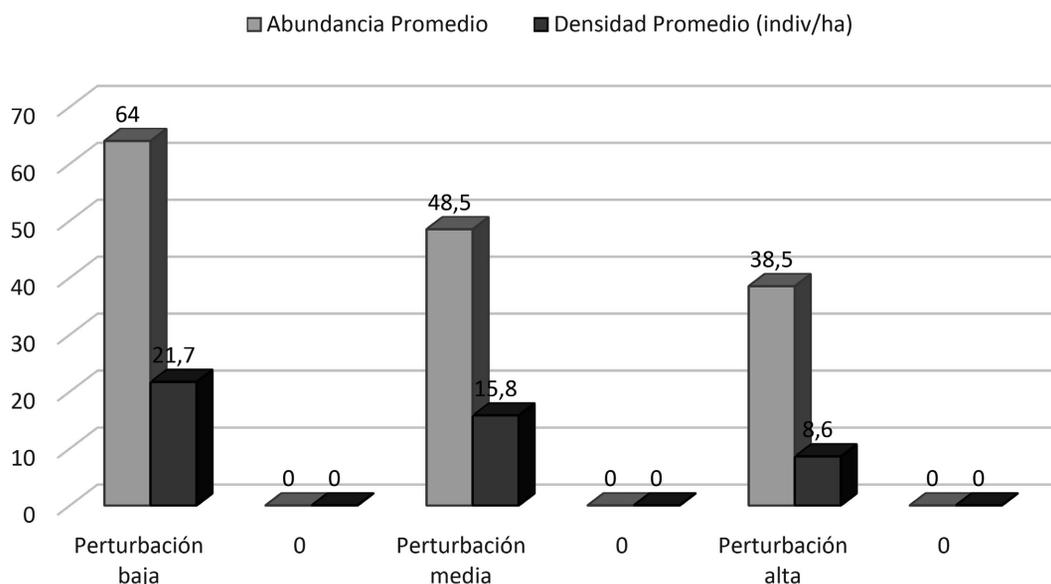


Figura 5. Abundancias y densidades promedios de acuerdo a cada nivel de perturbación.

## DISCUSIÓN

Tanto en las abundancias como en las densidades, se observa una disminución a medida que aumenta la perturbación del hábitat.

Prácticamente todos los trabajos realizados, consideran a *A. montensis* como una especie generalista debido a que se encuentra en distintos hábitats y es asociada positivamente con diferentes factores del mismo (Goodin et al., 2009; Melo et al., 2013). En este trabajo en particular, se observó que se encuentra positivamente relacionado con el primer estrato y las herbáceas, y negativamente con el suelo desnudo. Estos resultados ayudan a entender que si bien puede relacionarse con diferentes factores, aparentemente esos son factores que pueden proveerle de alimentos (como el primer estrato y las herbáceas) y protección contra depredadores, y ser potenciales lugares de anidamiento, como sería la cobertura del suelo.

Esta especie también está presente en hábitats con característica vegetales de bosques perturbados (Püttker et al., 2008b), y se ha observado una mayor preferencia de la especie a zonas degradadas en términos de suelos antropogénicamente perturbados (Goodin et al., 2006), lo que difiere con

los resultados de este trabajo en los que la especie está mucho más relacionada a hábitats con menor degradación. Los “suelos antropogénicamente perturbados” incluyen áreas de agricultura intensiva y mosaicos, lo que difiere de las áreas estudiadas que son áreas con perturbación del hábitat debido a la degradación de la vegetación, ocasionada por ejemplo por la tala que suele presentarse en esas zonas. Estos “suelos” podrían propiciar mejor acceso a fuentes de alimentos y mayor protección contra depredadores, mismas oportunidades que estarían disminuyendo en las áreas de hábitat natural perturbadas por la degradación de la vegetación en los diferentes hábitats de este estudio.

Si se tiene en cuenta la degradación estructural a una microescala en los distintos bosques, se observa que esta involucra la pérdida de factores que son utilizados por los mamíferos (y otros animales) para cubrir requerimientos específicos como sitios de anidamiento, de refugio o descanso, y también como sustratos para la alimentación. Estos factores pueden estar dados por detalles casi imperceptibles como cavidades en árboles o raíces y corteza o follaje en el suelo, de modo que su pérdida puede reducir la disponibilidad de hábitat considerados

de “buena calidad” para los animales, afectando las poblaciones de los mismos a diferentes escalas (Vergara et al., 2014).

### CONCLUSIÓN

Si bien *A. montensis* es considerada generalista por sus requerimientos de hábitat, los resultados en este estudio visualizan que tanto la abundancia como la densidad son mayores en aquellos hábitats con un menor grado de perturbación. Esto se interpretaría como que en los hábitats con menor degradación aún se encuentran disponibles los elementos que brindan una “buena calidad” al hábitat para estos roedores, mientras que en los hábitats de mayor perturbación podría estar ocurriendo una pérdida gradual y extensiva de los mismos, lo que ocasiona una menor abundancia y densidad de las poblaciones.

Los resultados hallados en este estudio resaltan la importancia de analizar y evaluar el hábitat a diferentes escalas, ya que como se ha visto, aparentemente analizando las diferentes parcelas con las mismas variables medidas en cada estación, resultan no ser muy significantes. Sin embargo, analizando la relación con cada variable y estación por estación, si se encontró una significancia, indicando que *Akodon montensis* no “elige” precisamente su área por características promedias del hábitat en general, pero si por características más específicas de microhábitat.

### AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto de la Texas Tech University: “Evolutionary Mechanisms of RNA Virus Host Switching”, apoyado por las becas de investigación otorgado por el National Institutes of Health (NIH, U.S.A.) I103053 y NIH R01 TW006986-01 a través del Programa “Ecología de Enfermedades Infecciosas”, por la beca ofrecida para participar del proyecto. Al Dr. Robert Owen, por permitirnos mediante la beca, formar parte de su equipo de trabajo, por su guía y seguimiento constante. A la Fundación Moisés Bertoni, y a todo el equipo de trabajo con quienes compartimos en el campo; Vicente Martínez, Emiliano Galeano, Ana Rivarola, Diego Bueno, Marcelina Sánchez y Belén Barreto, por hacer ameno

los trabajos en el campo.

### LITERATURA CITADA

- Cebollada Pütz, C., Basso, M., De Los Llanos, E.R. & Kufner, M. (2012). La fauna chaqueña de Córdoba (Argentina) afectada por la transformación agrícola. *Ecología Aplicada*, 11(2): 77-87.
- Chu, Y-K., Goodin, D., Owen, R. D., Koch, D. & Jonsson, C.B. (2009). Sympatry of 2 Hantavirus Strains, Paraguay, 2003-2007. *Emerging Infectious Diseases*, 15(12): 1977-1980.
- D’elía, G. & Pardiñas, U.F.J. (2015). Tribe Akodontini. In: Patton, J. L., Pardiñas, U.F.J. & D’elía, G (eds.). *Mammals of South America, Vol. 2, Rodents*. The University of Chicago Press, Chicago. Pp. 140-279
- Emmons, L.H. & Feer, F. (1990). Neotropical Rainforest Mammals: A Field Guide. The University of Chicago Press. pp 190.
- FAO. (1997). Situación de los bosques del mundo 1997. Diseñado y producido por Words and Publications, Oxford, Reino Unido. ISBN 92-5-303977-9. <http://www.fao.org/docrep/W4345S/w4345s00.htm#Contents>; 05 de mayo del 2016.
- FAO. (2011). Situación de los bosques del mundo 2011. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISBN 978-92-5-306750-3. <http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s00.htm>; 05 de mayo del 2016.
- FMB/BM. (2005). Reserva Natural del Bosque Mbaracayú. Plan de Manejo 2005-2010. Asunción – Paraguay: Fundación Moisés Bertoni para la Conservación de la Naturaleza (FMB), Banco Mundial (BM).
- Galindo-Leal, C. & Gusmão Camara, I. (2003). The Atlantic Forest of South America. Biodiversity Status, Threats, and Outlook. In: Porembski, S. *Plant Systematics & Evolution*. Island Press, Washington. 250(1/2); 119-121.
- García-Estrada, C., Peña-Sánchez, Y.A. & Colín-Martínez, H. (2015). Diversidad de mamífe-

- ros pequeños en dos sitios con diferente grado de alteración en la Sierra Sur, Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86(4); 1014-1023.
- Goodin, D.G., Koch, D.E., Owen, R.D., Chu, Y., Hutchinson, J.S. & Jonsson, C. (2006). Land cover associated with Hantavirus presence in Paraguay. *Global Ecology & Biogeography*, 15(5), 519-527.
- Goodin, D.G., Paige, R., Owen, R.D., Ghimire, K., Koch, D.E., Chu, Y.-K. & Jonsson, C.B. (2009). Microhabitat characteristics of *Akodon montensis*, a reservoir for hantavirus, and hantaviral seroprevalence in an Atlantic Forest site in eastern Paraguay. *Journal of Vector Ecology*. 34(1); 104-113.
- Melo, G. L., Miotto, B., Peres, B. & Cáceres, N.C. (2013). Microhabitat of small mammals at ground and understorey levels in a deciduous, southern Atlantic Forest. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias*. 85(2); 727-736
- Oliveira, R.C., Gentile, R., Guterres, A., Fernandes, J., Teixeira, B.R., Vaz, V., Valdezb, F., Vicente, L., Da Costa-Neto, S., Bonvicino C., D'andrea, P. & Lemos, E.S. (2014). Ecological study of hantavirus infection in wild rodents in an endemic area in Brazil. *Acta Tropica*. 131;1-10.
- Püttker, T., Meyer-Lucht, Y. & Sommer, S. (2008a). Fragmentation effects on population density of three rodent species in secondary Atlantic Rainforest, Brazil. *Studies on Neotropical Fauna & Environment*. 43(1); 11-18.
- Püttker, T., Pardini, R., Meyer-Lucht, Y. & Sommer, S. (2008b). Responses of five small mammal species to micro-scale variations in vegetation structure in secondary Atlantic Forest remnants, Brazil. *BMC ecology*. 8(1); 1.
- Püttker, T., Bueno, A.A., De Barros, C.S., Sommer, S. & Pardini, R. (2013). Habitat specialization interacts with habitat amount to determine dispersal success of rodents in fragmented landscapes. *Journal of Mammalogy*. 94(3); 714-726.
- Santos-Filho, M. Sanaiotti, T.M., Da Silva, D.J. & Peres, C. A. (2012). Habitat patch and matrix effects on small-mammal persistence in Amazonian forest fragments [electronic resource]. *Biodiversity and Conservation*. 21(4); 1127-1147.
- Schnell, G.D., Owen, R.D., Chesser, R.K. & Risser, P.G. (1980). Populations of small mammals in north-central Oklahoma. *The Southwestern Naturalist*. 25(1); 67-80.
- Suzán, G., Armién, A., Mills, J.N., Marcé, E., Ceballos, G., Ávila, M., Salazar-Bravo, J., Ruedas, L., Armién, B. & Yates, T.L. (2008). Epidemiological considerations of rodent community composition in fragmented landscapes in Panama. *Journal of Mammalogy*. 89(3); 684-690.
- Vergara, P.M., Rivera-Hutinel, A., Farías, A.A., Cofré, H., Samaniego, H. & Hahn, I.J. (2014). ¿Cómo Responden los Animales de l Bosque a las Perturbaciones Antropogénicas?. *Ecología Forestal: Bases para el Manejo Sustentable* (Eds: Donoso C., González ME., Lara A., Donoso P.) Marisa Cuneo Ediciones, Chile, 8; 235-254.
- WWF Paraguay. (2014). Informe Monitoreo satelital de la deforestación: desmontes detectados en el Bosque Atlántico del Alto Paraná (BAAPA). Período 16 de Diciembre de 2013 al 29 de agosto de 2014. [http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/informe\\_deforestacion\\_agosto2014.pdf](http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/informe_deforestacion_agosto2014.pdf); 05 de mayo del 2016.

**Nuevos registros de anuros para la urbanización Surubi'i (Departamento Central, Paraguay)****New records of anurans for urbanización Surubi'i (Central Department, Paraguay)**Gabriela Huttemann<sup>1</sup> & Esteban Lavilla<sup>2</sup><sup>1</sup>Secretaría del Ambiente (SEAM), Asunción, Paraguay. E-mail: gabrielahuttemann@gmail.com<sup>2</sup>UEL-CONICET, Instituto de Herpetología, Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.

La Urbanización Surubi'i, sita en la ecorregión Chaco Húmedo (Dinerstein *et al.*, 1995), en el área metropolitana de Asunción (Mariano Roque Alonso, Departamento Central, Paraguay, alrededor de los 25°11'11"S y 57°30'46"W), es un área de clima tropical húmedo, con una temperatura media anual de 22°C y un rango de precipitación anual que oscila entre 1400 y 1500 mm (Weiler *et al.*, 2007). Brusquetti & Netto (2008), citaron para el área 19 especies de anfibios, pertenecientes a 12 géneros y 4 familias, cifras que se han visto incrementadas por el presente trabajo, como resultado de un relevamiento llevado a cabo entre marzo y noviembre de 2013.

Los sitios muestreados fueron una laguna permanente (25°10'43.53"S 57°30'26.42"W) y sus alrededores, incluyendo cuerpos de agua temporales, y zonas abiertas y boscosas. La laguna, que se trata de una cantera abandonada con lecho de rocas que también afloran en los alrededores, mide aproximadamente 350 m x 30 m en temporadas de aguas medias. Los anfibios se registraron por búsqueda activa, visual y auditiva (Crump & Scott, 1994) durante 9 salidas de campo. Los ejemplares localizados fueron fotografiados e identificados a nivel específico, y el material de referencia fue depositado en la colección del Instituto de Investigación Biológica del Paraguay (IIBP).

Durante el periodo de estudio se registraron 22 especies de anfibios anuros en esa área de la Urbanización Surubi'i, representando 15 géneros y 5 familias (Tabla 1), Las familias mejor representadas fueron Hylidae (7 géneros; 9 especies) y Leptodactylidae (4 géneros; 9 especies), siendo el género más diverso *Leptodactylus* (5 especies). La dominancia de estas dos familias coincide con lo reportado para otras áreas neotropicales (Crump 1974; Bertoluci,

1998; Prado, 2003; Canelas & Bertoluci, 2007; Bitar *et al.*, 2012) y ya fue advertida en Surubi'i por Weiler *et al.* (2007).

Durante el estudio se registraron por primera vez para la Urbanización Surubi'i una familia (Odontophrynidae) y cinco especies, a saber: Odontophrynidae: *Odontophrynus americanus*; Leptodactylidae: *Adenomera diptyx*, *Leptodactylus elenae* y *Pseudopaludicola boliviana*; Hylidae: *Pseudis platensis*. Por otro lado, no se registraron dos de las especies registradas por Weiler *et al.* (2007), *Rhinella schneideri* y *Dendropsophus minutus*.

*Adenomera diptyx* y *Pseudis platensis* fueron registradas en zonas de bosque, aunque *A. diptyx* se registró también en zonas abiertas. *Leptodactylus elenae*, *Odontophrynus americanus* y *Pseudopaludicola boliviana* fueron registradas durante todo el estudio exclusivamente en zonas abiertas del sitio de estudio.

Estas cifras no son definitivas, dado que, de acuerdo con Brusquetti & Lavilla (2006) existen 14 especies en el Departamento Central que no fueron registradas en Surubi'i (Hylidae: *Scinax berthae*, *S. fuscovarius*, *S. squalirostris*, Leptodactylidae: *Leptodactylus bufonius*, *L. gracilis*, *L. latinasus*, *L. mystacinus*, *Lepidobatrachus asper*, *Physalaemus cuvieri*, BUFONIDAE: *Rhinella bergi*, *R. fernandezae*, *R. azarai*, *R. major* y Microhylidae: *Dermatonotus muelleri*). Esto resalta la importancia y necesidad de realizar muestreos sostenidos en el tiempo, dados los diversos patrones de actividad presentados por los anuros.

**AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la Asociación de Propietarios de Surubi'i por los permisos para el trabajo de campo. A H. Sánchez, L. Romero, D. Bueno, A. Caballero,

Recibido: 18/12/2015 Aceptado: 7/11/2018



**Tabla 1.** Anfibios registrados en la Urbanización Surubi'i. En negritas, nuevos registros. (\*) especies citadas por Weiler *et al.* (2007) y no registrado en este análisis.

Familia	Especie
Hylidae	<i>Dendropsophus nanus</i>
	<i>Dendropsophus minutus</i> *
	<i>Scinax acuminatus</i>
	<i>Scinax nasicus</i>
	<i>Hypsiboas punctatus</i>
	<i>Hypsiboas raniceps</i>
	<i>Trachycephalus typhonius</i>
	<b><i>Pseudis platensis</i></b>
	<i>Phyllomedusa azurea</i>
	<i>Lysapsus limellum</i>
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus podicipinus</i>
	<i>Leptodactylus chaquensis</i>
	<i>Leptodactylus latrans</i>
	<b><i>Leptodactylus elenae</i></b>
	<i>Leptodactylus fuscus</i>
	<i>Adenomera diptyx</i>
	<b><i>Pseudopaludicola boliviana</i></b>
	<i>Physalaemus albonotatus</i>
	<i>Physalaemus biligonigerus</i>
Bufonidae	<i>Rhinella schneideri</i> *
	<i>Melanophryniscus paraguayensis</i>
Odontophrynidae	<b><i>Odontophrynus americanus</i></b>
Microhylidae	<i>Elachistocleis bicolor</i>
	<i>Chiasmocleis albopunctata</i>

M. Ferreira y A. García por su gran ayuda durante los trabajos de campo. Este estudio fue parte de una tesis de maestría de la primera autora, que fue parcialmente financiado por la AECID Proyecto 11-CAP2-1434.

#### LITERATURA CITADA

- Bertoluci, J. (1998). Annual patterns of breeding activity in Atlantic rainforest anurans. *Journal of Herpetology*, 32: 607-611.
- Bitar, Y., Pinheiro, L., Abe, P. & Santos-Costa, M.C. (2012). Species composition and reproductive modes of anurans from transitional Amazonian forest, Brazil. *Zoologia*, 29(1): 19-26.
- Brusquetti, F. & Lavilla, E.O. (2006). Lista comentada de los anfibios del Paraguay. *Cuadernos de Herpetología*, 20(2): 3-79.
- Brusquetti, F. & Netto, F. (2008). Geographic Distribution: *Chiasmocleis albopunctata*. *Herpetological Review*, 39: 362-362.
- Canelas, M. & Bertoluci, J. (2007). Anurans of the Serra do Caraça, southeastern Brazil: species composition and phenological patterns of calling activity. *Iheringia, Série Zoologia*, 97(1): 21-26.
- Crump, M.L. (1974). Reproductive strategies in a tropical anuran community. *Miscellaneous Publications, University of Kansas, Museum of Natural History*, 61: 1-68.
- Crump, M. L. & Scott, N.J. (1994). Visual Encounter Surveys. In: Heyer, W., M. A., Donnelley, R. A., McDiarmid, L. C., Hayec & M. C., Foster (eds). *Measuring and Monitoring Biological Diversity. Standard Methods for Amphibians*. Washington DC: Smithsonian Institution Press. Xix + 364 pp.
- Dayton, G. & Fitzgerald, L. (2001). Competition, Predation, and the Distributions of Four Desert Anurans. *Oecologia*, 129: 430-435.
- Dinerstein, E., Olson, D. M., Graham, D. J., Webster, A. L., Primm, S. A., Bookbinder, M. P. & Ledec, G. (1995). *Una evaluación del estado de conservación de las ecorregiones terrestres de América Latina y el Caribe*. Washington, D.C.: WWF / Banco Mundial. 176 pp.
- Prado, C. (2003). *Estratégias reprodutivas em uma comunidade de anuros no Pantanal, Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil*. Tesis Doctoral, Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. 157p.
- Weiler, A., Airaldi, K., Resquín, J. J. & Núñez, K. (2007). Inventario de Anuros en Surubi'i, Mariano Roque Alonso, Central, Paraguay. *Investigaciones y estudios de la UNA*, 2: 23-30.

**Estudio multifrecuencia de la galaxia IZw18****Multifrequency study of galaxy IZw18**José María Gómez<sup>1</sup> & Carolina Kehrig<sup>2,3</sup><sup>1</sup>Departamento de Física, FACEN-UNA. Correo electrónico: jhoseghomez@yahoo.es<sup>2</sup>Instituto de Astrofísica de Andalucía IAA, España. Correo electrónico: kehrig@iaa.es<sup>3</sup>Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC, España.

**Resumen:** En este trabajo se ha realizado un estudio multifrecuencia de la galaxia enana compacta azul IZw18. Se la considera una galaxia con características similares a las galaxias primitivas del universo lejano, dada su baja metalicidad y su importante eficiencia de formación estelar. Se utilizaron imágenes del WISE (infrarrojo cercano/medio) [California Institute of Technology, 2015], 2MASS (infrarrojo cercano) [Skrutskie *et al.*, 2006], SDSS (visible) [Gal & Evans, 2004] y GALEX (ultravioleta) [Neff & Myers, 2012] de forma a cubrir un amplio rango de longitudes de onda. De cada imagen se obtuvo la densidad de flujo de forma a ajustarlas a las salidas del código de modelado de galaxias GRASIL. El modelo de mejor ajuste muestra una Densidad Espectral de Energía con altos valores de densidad de flujo para longitudes de onda menores. La historia de la tasa de formación estelar obtenida muestra una formación estelar temprana desde hace unos 14 Gyr a una tasa del orden de los  $1 \times 10^{-4}$  MSol/yr, que creciendo lentamente alcanza una tasa de 0.094 MSol/yr.

**Palabras clave:** Multifrecuencia, densidad de flujo, densidad espectral de energía

**Abstract:** This paper has done a multifrequency study of the blue compact dwarf galaxy IZw18. It is considered a galaxy similar to primitive galaxies in the distant universe features, given their low metallicity and high rate of star formation. WISE images (near infrared / medium), 2MASS (near infrared), SDSS (visible) and GALEX (ultraviolet) so as to cover a wide range of wavelengths were used. Each image flux density so as to adjust to the outputs of code modeling GRASIL galaxies was obtained the best fit model shows a Spectral Energy Distribution with high flux density values for shorter wavelengths. The history of star formation rate obtained shows an early star formation since about 14 Gyr at a rate of the order of  $1 \times 10^{-4}$  Msol /yr, which grow slowly reaching a rate of 0.094 Msol / yr.

**Keywords:** Multifrequency, flux density, spectral energy distribution.

**INTRODUCCIÓN**

Las galaxias están constituidas por millones de estrellas, de las más variadas características, además de gas y polvo. Estos últimos, que presentes en mayor o menor medida son claves a la hora de conocer el estado evolutivo de la galaxia que los contiene, dado que tienen una fuerte incidencia sobre todo en la formación de estrellas, atendiendo que las mismas son formadas a partir de estos materiales.

El polvo juega un papel fundamental en la formación estelar, ya que impide que la radiación ultravioleta (UV) aumente la temperatura del gas e impida su colapso. También al estar presente en la galaxia misma, cambia las condiciones físicas y químicas del medio interestelar (ISM del inglés

Interstellar Medium) (Silva, L. & Danese, L., 1998). De forma a poder realizar un modelo de una galaxia es necesario conocer la forma con que cambia la tasa de formación estelar (SFR del inglés Star Formation Rate), la función inicial de masa (IMF del inglés Initial Mass Function), la metalicidad  $Z(t)$  y la fracción residual de gas  $g(t)$ . Luego es posible tener en cuenta todas las estrellas y el gas presentes en una galaxia en un tiempo  $t_G$  de forma a estimar su densidad espectral de energía (SED del inglés Spectral Energy Distribution) sumando las contribuciones de todas las estrellas y el gas de la galaxia.

Unos de los códigos de modelado de galaxias que además de los factores mencionados arriba tiene en cuenta la geometría de la distribución del

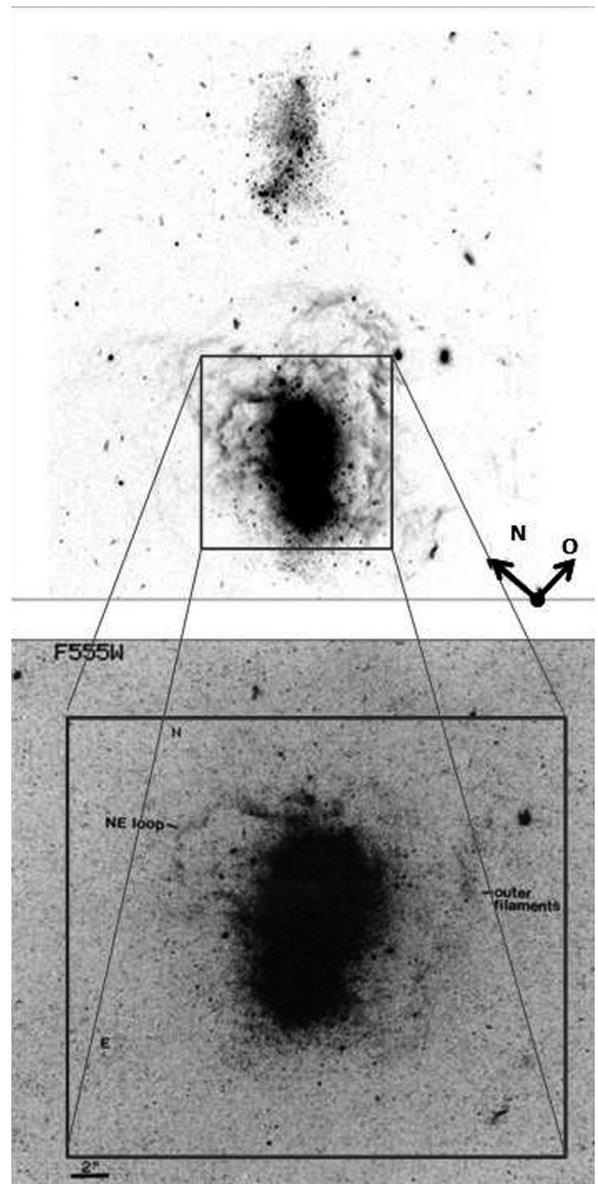
Recibido: 09/05/2017 Aceptado: 19/07/2018



polvo en una galaxia es el GRASIL. Donde se tiene especialmente en cuenta el transporte radiativo de las emisiones del polvo y las estrellas (Silva, L. & Danese, L.,1998). A partir de las imágenes de una galaxia dada en diferentes filtros, se puede ajustar los datos fotométricos de esta galaxia a las SEDs sintéticas obtenidas de los modelos y utilizando una estadística bayesiana definir el modelo de mejor ajuste. Hecho esto se podrá estudiar las características de la galaxia mediante los parámetros obtenidos.

La galaxia IZw18 representa un buen objeto para el estudio de la relación entre galaxias de baja metalicidad y la formación de estrellas en nubes moleculares, así como la evolución de estrellas masivas. Constituye además, un ejemplo de galaxia con características similares a las galaxias primitivas, pero ubicada en el Universo local a una distancia de unos  $18.2 \pm 1.5$  Mpc según últimos trabajos al respecto (Aloisi *et al.*, 2007), por tanto, sus propiedades podrían ser comparadas con aquellas galaxias primitivas del universo lejano. Está constituida por una estructura dividida en dos partes: una llamada cuerpo principal y el otro cuerpo secundario. La primera con una masa en estrellas viejas de límite inferior del orden de  $2 \times 10^6$  Msol, está caracterizada por un alta eficiencia de formación estelar, sobre todo en los últimos 10 Myr, sin embargo, la formación estelar ya habría comenzado 1 Gyr antes. Por el contrario, la masa y la tasa de formación estelar no son bien conocidas para el cuerpo secundario (Annibali, F. *et al.*,2013).

La Figura 1 muestra una imagen de la galaxia IZw18. La población estelar de IZw18 está constituida principalmente por estrellas jóvenes las cuales le dan su color azul característico (Kunth, D. & Sargent W.L.W.,1986). Sin embargo, el rango para las edades abarcaría desde las de reciente formación e incluirían aquellas estrellas mayores a los 13Gyr de edad. Las estrellas jóvenes estarían más concentradas, sobretodo en la parte noroeste del cuerpo principal. Mientras las estrellas viejas y las de edad intermedia se distribuirían de manera homogénea (Contreras Ramos, R. *et al.*,2011). Esta distribución es tal que cerca de la mitad de las estrellas masivas se concentran en dos grupos, al norte



**Figura 1.** (Arriba) Imagen de la Galaxia IZw18 tomadas por el Hubble Space Telescope (HST) en la banda F606W (centrada en 5957 Å y de 1508 Å de ancho de banda), se observan el cuerpo principal y el cuerpo secundario. La dirección Norte-Sur (Este-Oeste) también es indicada con las flechas correspondientes. Se llega a individualizar estrellas en ambas regiones, así como las regiones de gas y polvo. (Abajo) Imagen en filtro F555W (centrada en 5407 Å y de 1236 Å de ancho de banda) del HST donde se observa bucles y filamentos de gas ionizado prolongándose hasta las partes externas del cuerpo principal. [Fuentes: Annibali *et al.* (2013), Hunter & Thronson (1995)].

y al sur del cuerpo principal. Otra característica de esta galaxia son los gases ionizados que inclusive forman estructuras filamentosas del orden de 450 pc como se aprecia en la Figura 1 (Hunter, D.A. & Thronson, H.A.(Jr),1995).

### Estudio Multifrecuencia

Este tipo de estudios se abrieron paso gracias a las múltiples misiones espaciales y terrestres que pudieron superar la barrera que significaba la atmósfera para muchos rangos de energía.

Además, con el avance tecnológico se han podido construir dispositivos para la observación astronómica en un amplio rango de longitudes de onda. Permitieron así cubrir grandes regiones del cielo, donde fueron estudiadas cantidades enormes de fuentes en cada longitud de onda, posibilitando la realización de estudios antes de imposible realización, dado que no se contaba con estos datos multifrecuencia.

Algunas de las ventajas de estos estudios multifrecuencia aplicado al estudio de las galaxias son (Santini, 2014):

- Dan una completa visión de una galaxia en su conjunto.
- Permiten un estudio de la evolución de las galaxias con el redshift fotométrico.
- Permiten estimar el redshift fotométrico y algunos parámetros físicos.

Para poder sintetizar la SED de una galaxia se tiene en cuenta entre otros, estos elementos (Silva, 2010):

- Las estrellas y el gas.
- La función inicial de masa IMF.
- La tasa de formación estelar SFR.
- El polvo.

Considerando a estos elementos es posible obtener una SED integrada, que tiene en cuenta a todas las estrellas y el gas de la galaxia.

En este sentido es necesario calcular la luminosidad espectral a una longitud de onda dada  $f_{\lambda}^{SSP}(t, Z)$  (Potencia por unidad de frecuencia) de una Simple población estelar (SSP del inglés Single

Stellar Populations). Para ello es necesario conocer la función inicial de masa  $\Phi(m)$  que actúa como factor de peso y la luminosidad espectral estelar a la longitud de onda considerada  $f_{\lambda}(m, t, Z)$  (la cual a su vez depende de la metalicidad, la masa, el tiempo). De esta forma obtenemos la luminosidad espectral de una población estelar singular  $f_{\lambda}^{SSP}(t, Z)$  sumando todas las contribuciones de las estrellas componentes:

$$f_{\lambda}^{SSP}(t, Z) = \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} \Phi(m) f_{\lambda}(m, t, Z) dm \quad (1)$$

Si a su vez sumamos las contribuciones de todas las poblaciones estelares singulares en la galaxia dadas por (1) desde el tiempo  $t=0$  hasta el presente  $t$  obtendremos la luminosidad espectral de la galaxia a la longitud de onda considerada  $f_{\lambda}^{gal}(t, Z)$ , regida por una ecuación de la forma:

$$f_{\lambda}^{gal}(t, Z) = \int_0^t f_{\lambda}^{SSP}(t-t', Z) SFR(t') dt' \quad (2)$$

La tasa de formación estelar SFR cumple la función de actuar como peso de la luminosidad espectral  $f_{\lambda}^{SSP}$  en la ecuación (2).

### Modelado de galaxias mediante el código GRASIL

En la última sección no ha sido tenido en cuenta el polvo galáctico para obtener las luminosidades espectrales dadas por (2). El polvo tiene la importancia de favorecer la formación estelar, ya que hace posible mantener la temperatura lo suficientemente baja para permitir la inestabilidad gravitacional (Silva, L. & Danese, L.,1998). Uno de los códigos de modelado de galaxias que tiene en cuenta la distribución de polvo es GRASIL (de GRAPhite-SILicate).

El polvo que considera este código se ubica principalmente en tres ambientes diferentes que son:

- Polvo en regiones HII calentado por la radiación interestelar.
- Polvo asociado a las regiones moleculares.
- Polvo circunestelar producido por estrellas en etapas de evolución.

Por su parte los gases de las galaxias se dividen en dos tipos:

- a. Gas molecular de formación estelar.
- b. Medio difuso.

En cuanto a la geometría de la distribución de gas y polvo, se asume una distribución simétrica tanto azimutal como ecuatorial.

Así existen tres componentes principales de la distribución que son:

- a. Nubes moleculares complejas de formación estelar con gas y polvo comprimidos, regiones HII con estrellas jóvenes con emisividad volumétrica  $j_{\lambda}^{mc}$  (Energía emitida por unidad de masa del cuerpo que radia (Gutiérrez, A. & Moreno H., 1981).
- b. Estrellas que escaparon de las regiones densas con emisividad volumétrica  $J_{\lambda}^*$ .
- c. Gas difuso (cirrus) con emisividad volumétrica  $J_{\lambda}^c$  asociadas a estrellas más evolucionadas. Cada una de estas regiones contribuye a la emisividad volumétrica total, de forma que la emisión está caracterizada por una ecuación de la forma:

$$j_{\lambda} = j_{\lambda}^{mc} + J_{\lambda}^* + J_{\lambda}^c \quad (3)$$

Una galaxia es dividida para su estudio en pequeños elementos  $V_i$ , en donde el elemento de radiación dada la emisividad de extinción  $J_{\lambda,i}$  de estrellas libres, nubes moleculares, y polvo difuso es:

$$J_{\lambda,i} = \sum_k \frac{v_k (j_{\lambda,k}^{mc} + J_{\lambda,k}^* + j_{\lambda}^c) \exp[-\tau_{eff,\lambda}(i,k)]}{r^2(i,k)} \quad (4),$$

donde  $\tau_{eff,\lambda}(i,k)$  es la profundidad óptica a la longitud de onda  $\lambda$  entre 2 elementos (definida de tal forma que valiendo 1, la intensidad específica de radiación disminuye 1/e veces de su valor original al pasar por una capa de un material dado (Gutiérrez, A. & Moreno H., 1981) y  $r(i,k)$  es la distancia entre los elementos  $i$  y  $k$ . Por último, la densidad de flujo específica (monocromática) medida por una fuente externa en una dirección  $\theta$  es la suma sobre toda la galaxia de la emisividad extinguida de las estrellas libres, nubes moleculares, y polvo difuso:

$$F_{\lambda}(\theta) = 4\pi \sum_k v_k j_{\lambda,k} \exp[-\tau_{eff,\lambda}(k,\theta)] \quad (5),$$

Donde  $\tau_{eff,\lambda}(k,\theta)$  es la profundidad óptica de un elemento  $k$  hacia las afueras de la galaxia en la dirección del ángulo  $\theta$  (Silva, L. & Danese, L., 1998). De esta forma la luminosidad espectral dada por la ecuación (2) llega al observador en forma de densidad de flujo monocromática dada por (5). Así partiendo de las características estelares y del medio interestelar se puede sintetizar la *SED* de una galaxia. La importancia del modelado de las densidades espectrales de energía (*SED*) de galaxias mediante *GRASIL* es la posibilidad de interpretar observaciones y la de realizar predicciones sobre modelos de formación galáctica (Silva, L., 2010). En cuanto a la interpretación de resultados, podemos agregar que algunos de los parámetros que son posibles obtener del ajuste de las SEDs sintéticas a las SEDs fotométricas son:  $v$  que es un parámetro libre que varía entre  $2.5 \times 10^{-4}$  a 4 para bajas y altas tasas eficiencias de formación estelar respectivamente, por tanto regula la SFR dentro una ley tipo Schmidt siguiente:

$$\Psi(t) = v M_{g(t)}^k \quad (6)$$

Donde  $M_{g(t)}$ , es la masa del gas en cualquier tiempo,  $K=1$ , es decir, suponemos que SFR varia linealmente con la masa de gas en cualquier tiempo. Para a la función inicial de masa (IMF) se usa la ley de Salpeter que es de la forma:

$$\Phi(M) \propto M^{-x} \quad (7),$$

donde  $x=2.35$  y el límite superior del rango de masas es fijada a  $100 M_{sol}$ . El colapso de gas primordial en la fase inicial de formación de la galaxia, es regulada por el parámetro  $\tau_{inf}$  en una ley descrita por una función exponencial de la forma:

$$MM(t) \propto \exp\left(-\frac{t}{\tau_{inf}}\right) \quad (8),$$

donde  $\tau_{inf}$  varía entre 0,1 a 21,6 Gyr.

Esta última ecuación indica una disminución gradual del colapso del gas en la galaxia. Además, la inclinación de una galaxia puede variar entre 15 a 75° y afecta la SED de la misma en el sentido

del efecto de la distribución de polvo en diferentes partes de la galaxia y la detección de la señal desde la Tierra. Este tipo de modelos ha sido testeado exitosamente en galaxias cercanas esferoidales así como en galaxias espirales con determinados parámetros seleccionados cuidadosamente como ser un valor bajo de  $v$  y/o un tiempo de colapso de gas muy grande (Silva, L. & Danese, L., 1998).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de imágenes

Para realizar el estudio multifrecuencia de una galaxia, es necesario obtener imágenes calibradas en varias longitudes de onda.

Esto se realizó bajando imágenes mediante el servicio NED (NASA Extragalactic Database), buscando por el nombre o las coordenadas absolutas de la galaxia IZw18. Una vez obtenida las imágenes es necesario realizar la fotometría de apertura.

Para ello se tiene en cuenta las características técnicas de los instrumentos utilizados por las diferentes misiones espaciales o proyectos. Estas características son entre otras: la escala de pixel, relación cuentas/unidad y la densidad de flujo. Detallamos brevemente a continuación estas características para cada misión.

### Misión GALEX (Galaxy Evolution Explorer)

Esta misión ha tomado imágenes mediante un satélite dotado de un telescopio de 50 cm de diámetro en el ultravioleta, específicamente en ultravioleta lejano como próximo, de forma a estudiar galaxias en formación y tratar de entender los caminos que llevaron a la composición química de nuestra propia galaxia y las del universo local. Los estudios de GALEX se centran en dos bandas: FUV (Far UltraViolet) entre (1350-1750) Å y NUV (Near UltraViolet) entre (1750- 2800) Å. Ha barrido un área del orden de los 40000 grados<sup>2</sup> cubriendo un volumen de 1.5 Gpc<sup>3</sup>, tomando datos de unas 10.000 galaxias. La escala de pixel es de 1.5 arcsec/pixel, y la respuesta instrumental está dada en cuentas/seg/pixel/rr (cps/rr). La magnitud calibrada Galex es definida de la siguiente manera:

$$\text{mag}_{\text{GALEX}} = -2,5 \log_{10} (\text{cps rr}) \quad (9)$$

Para transformar la magnitud calibrada de GALEX en densidad de flujo físico se utiliza los factores de conversión apropiados para cada filtro (GALEX Photometry, 2015).

### Misión 2MASS (Two Micron All Sky Survey)

Esta misión tiene el objetivo de estudiar nuestra galaxia, así como el universo cercano. Ha llegado a obtener datos de cerca de 1.6 millones de galaxias resueltas como cuerpos extensos, además de cerca de 500 millones de fuentes puntuales entre galaxias y estrellas. Específicamente es posible estudiar objetos fríos como estrellas de baja luminosidad, enanas marrones y objetos o regiones oscurecidas por el polvo galáctico. Obtuvo imágenes con un telescopio de 1.3 m de apertura ubicado en monte Hopkins- Arizona-EEUU y otro en el observatorio de Cerro Tololo-Chile, cubriendo alrededor del 95% del cielo sin saltos mayores a 200 grados<sup>2</sup>. Su estudio se centra en tres bandas J (1,25 μ), H (1,65 μ), K (2,17 μ), con una escala de pixel de 2 arcsec/pixel. Los valores de pixel están en "DN" (Data Number units). Con este valor se calcula la densidad de flujo según la siguiente relación:

$$\text{mag} = \text{MAGZD} - 2,5 \log_{10} (\text{DN}) \quad (10)$$

Donde MAGZD, es la magnitud en el punto cero especificada en la cabecera de las imágenes de 2MASS. Está relacionada a su vez con la densidad de flujo para una magnitud cero en Janskys (Jy) (2MASS, Photometry, 2015).

### Misión WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer)

Utilizando un telescopio de 40 cm de diámetro con cuatro detectores criogénicos, que una vez puestos en órbita han proporcionado imágenes en cuatro bandas: 3.4 μm, 4.6 μm, 1 μm y entre 12-22 μm habiendo obtenido datos de cerca de 750 millones de objetos mediante 2 escaneados completos del cielo. Diseñado principalmente para realizar estudios de objetos de baja temperatura, tanto del sistema solar, de la Vía láctea y del Universo lejano. La magnitud

calibrada de un objeto para las imágenes WISE se calcula por:

$$\text{mag}_{\text{WISE}} = \text{MAGZP} - 2,5 \log_{10}(f) \quad (11)$$

De la ecuación anterior es posible obtener la densidad de flujo  $f$ , que para pasarlo a Janskys (Jy) deben ser multiplicados por las densidades de flujo en el punto cero  $\text{Flux\_ZP}$  que corresponde a cada filtro (Wise Photometry, 2016).

### Misión SDSS (Sloan Digital Sky Survey)

Esta misión tiene como uno de sus objetivos construir un mapa tridimensional del Universo, además de obtener espectros de 3 millones de objetos, imágenes de 141 millones de objetos, cubriendo cerca de la cuarta parte del cielo, específicamente 5282 grados<sup>2</sup>. Utilizó un telescopio de 2.5 m ubicado en el Apache Point Observatory y otro de la misma apertura llamado Iréneé du Pont ubicado en el observatorio Las Campanas de Chile. Los filtros con los que trabaja, son los filtros u, g, r, i, z similar al de Johnson-Cousin diseñados especialmente para este proyecto. La densidad de flujo se calcula mediante la relación siguiente:

$$f = (\text{flux}_{20} \times 1 \times 10^8) \times 10^{\frac{-\text{mag}}{2,5}} \quad (12),$$

Dónde  $\text{flux}_{20}$  es la densidad de flujo correspondiente a un objeto de magnitud 20 y que a su vez está relacionada con la magnitud en el punto cero ZPMAG de la siguiente manera:

$$\text{ZPMAG} = -2,5 \log(\text{Flux}_{20} \times 1 \times 10^8) \quad (13)$$

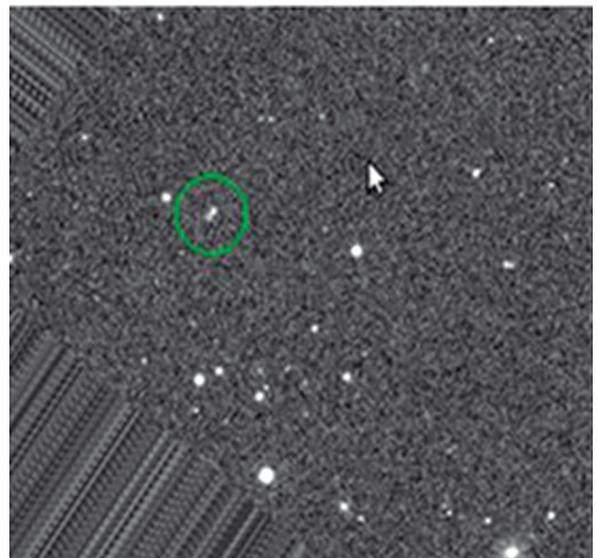
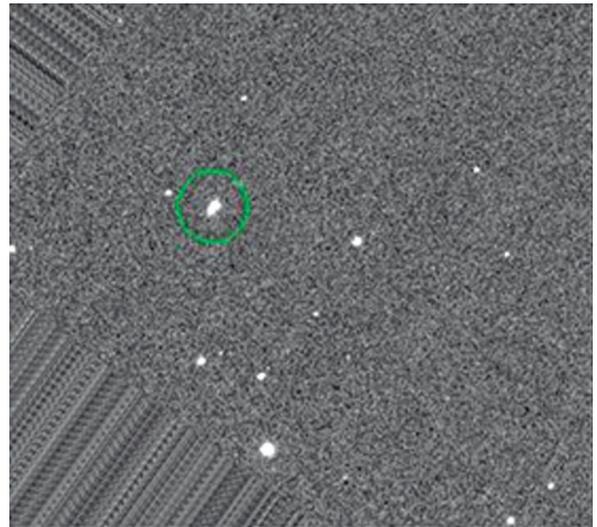
Los valores de  $\text{flux}_{20}$  pueden ser obtenidos de las cabeceras de las imágenes respectivas (SDSS Photometry, 2015).

### Fotometría de IZw18

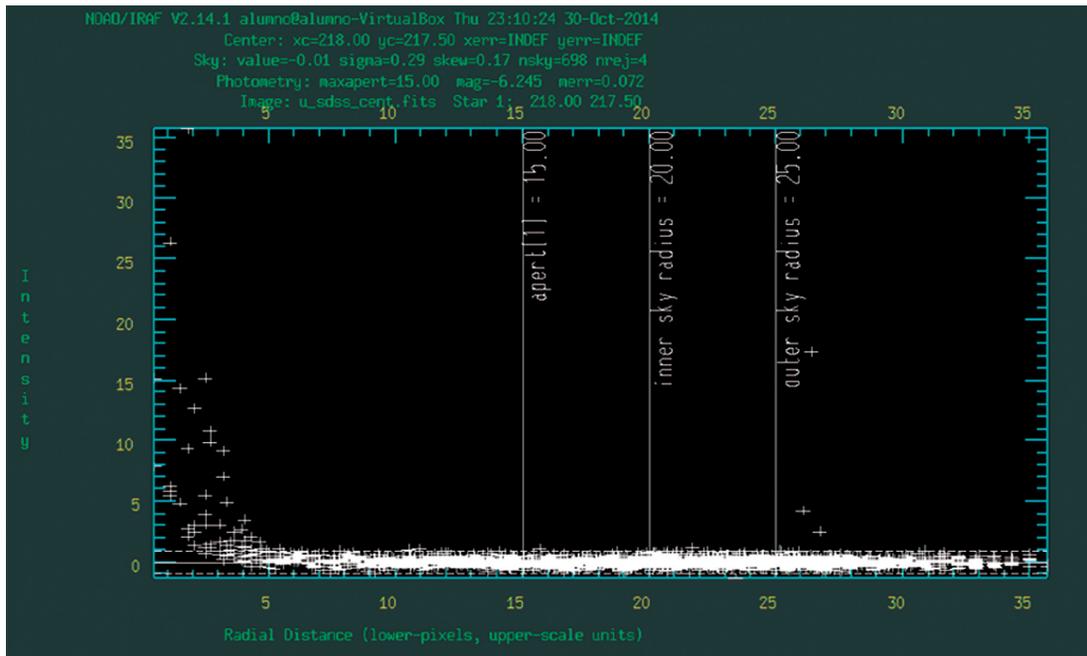
Para la realización de la fotometría se utilizó el paquete de herramientas astronómicas IRAF (Image Reduction for Astronomy Facilities), suministrado de manera libre por NOAO (National Optical Astronomy Observatories). Se ha empezado por recortar y centrar las imágenes mediante la tarea wregister tomando como referencia la imagen en banda 1 de la misión WISE, debido a que la galaxia aparece

bien centrada en esta imagen. Las coordenadas del centro aproximado de la galaxia (X,Y) en pixeles, fue ubicada en un fichero texto y utilizado como centro de la apertura en la fotometría de todas las imágenes. Este proceso fue repetido para todas las demás imágenes disponibles en otras longitudes de onda para la galaxia irregular IZw18.

En la Figura 2 apreciamos imágenes recortadas para los filtros “r” y “u” del SDSS, donde en un



**Figura 2.** Imágenes del SDSS en filtro “r” (arriba) y en filtro “u” (abajo) recortadas con IRAF, donde se indica con el círculo verde la galaxia IZw18.



**Figura 3.** Perfil radial de la fotometría de la galaxia IZw18 en filtro “u” obtenida con el servidor de imagen de pantalla DS9 de IRAF. Se indica mediante las líneas verticales blancas: el radio de apertura utilizado (15 píxeles), el radio interior del cielo (20 píxeles), así como el exterior (25 píxeles) de izquierda a derecha respectivamente.

círculo verde se señala la a IZw18. Seguidamente se utilizó la tarea “phot” ubicada en el paquete “apphot” (se instala previamente noao y digiphot). Todo esto, no sin antes definir la apertura y editar los parámetros de centrado, datos y cielo. La apertura se definió de manera manual trabajando sobre la imagen en filtro “r” de la misión SDSS, con centro de apertura especificado en el fichero texto previamente mencionado. Trabajando sobre esta imagen se definió la apertura en 15 píxeles de radio, de forma cubrir sobradamente el tamaño de la galaxia y no abarcar otras fuentes de energía, como ser estrellas débiles.

El tamaño de píxel para esta imagen es de  $1.0688 \times 10^1 / \text{pixel} = 6.41298 \times 10^{-3} \text{ arcsec/pixel}$ , este valor da una apertura del orden de 0.192 arcsec para este caso y fue utilizado como referencia para la fotometría de las demás imágenes de forma a definir siempre la misma apertura, que corresponderá en ese caso a un número diferente de píxeles. En la Figura 3 podemos apreciar un perfil radial típico encontrado en la fotometría de IZw18.

En algunos casos fue necesario cambiar la

apertura, ya que la señal registrada sobrepasaba la posición de los 15 píxeles en el perfil radial correspondiente.

Para realizar la fotometría del cielo el *annulus* fue fijado en 5 píxeles sobre la apertura, es decir, en 20 píxeles. Mientras tanto el *dannulus* fue fijado en 5 píxeles.

Editando los parámetros de la tarea *phot*, específicamente el *apertur*, fue fijada la apertura en 15 píxeles.

### Obtención del modelo de mejor ajuste

Una vez obtenidas las densidades de flujo en cada longitud de onda, fue utilizado el código *GRASIL*, de forma tal a ajustar estas mediciones con las salidas de dicho código.

La base de datos utilizada consiste en 864 modelos, con 14 entradas que se corresponden con las densidades de flujos obtenidos de las imágenes de las misiones *GALEX*, *SDSS*, *2MASS*, *WISE*, en donde las imágenes correspondientes a los filtros H ( $1,65 \mu$ ) y K ( $2,17 \mu$ ) del 2MASS arrojaron errores durante la realización de la fotometría por lo que

no fueron tenidas en cuenta. Estas imágenes presentaban una relación señal ruido muy baja. Para realizar el ajuste de los datos a las SEDs sintéticos es necesario calcular el Chi-cuadrado reducido definido por:

$$\chi^2 = \sum_i^n \chi_i^2 \quad (14)$$

$$\text{Donde } \chi_i^2 = (f_{\lambda,i} - cj_{\lambda,i})^2 / (\Delta f_{\lambda,i})^2 \quad (15)$$

Siendo respectivamente:

$f_{\lambda,i}$  = densidad de flujo medida a  $\lambda_i$

$j_{\lambda,i}$  = densidad de flujo del modelo a  $\lambda_i$

$\Delta f_{\lambda,i}$  = error en la densidad de flujo medida a  $\lambda_i$

$c$  = factor por el que se multiplica cada densidad de flujo del modelo, ya que sus valores están en unidades arbitrarias

El cálculo de  $c$  se realiza de forma tal a minimizar el  $\chi^2$ , por tanto derivando (15) con respecto a  $c$  y resolviendo para esta constante tenemos:

$$cc = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{j_{\lambda,i} f_{\lambda,i}}{\Delta f_{\lambda,i}^2} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{j_{\lambda,i}}{\Delta f_{\lambda,i}} \right)^2} \quad (16)$$

Con esto podemos obtener el modelo que mejor se ajuste a nuestros valores de densidad de flujo medidas y luego analizar las propiedades de la galaxia IZw18 que se desprenden de dicho modelo.

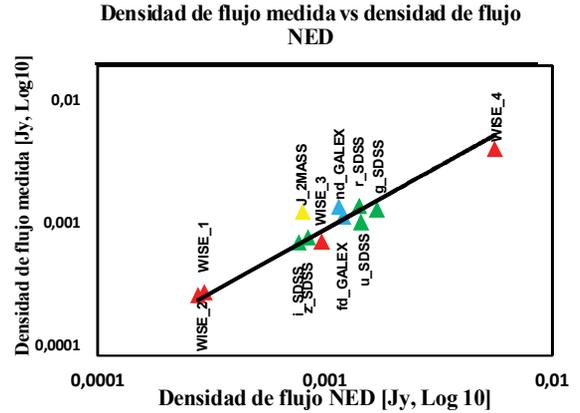
De forma a evaluar la bondad de ajuste de los datos al modelo es útil calcular el *coeficiente de regresión*  $R^2$ , definido por una ecuación de la forma:

$$R^2 = \left( \frac{S_t^2 - S_f^2}{S_t^2} \right) \quad (17)$$

Donde  $S_t^2$  es la varianza total y  $S_f^2$  es la varianza del ajuste o Chi-cuadrado por grado de libertad (Gil, S. y Rodríguez, E.,2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de magnitud obtenidas en la fotometría fueron convertidos a densidad de flujo mediante las relaciones logarítmicas mencionadas anteriormente,



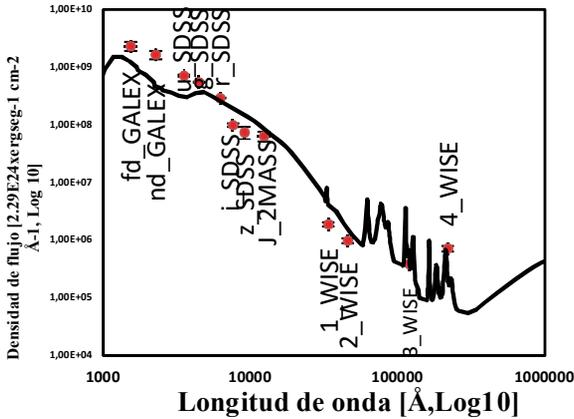
**Figura 4.** Gráfica de comparación entre los valores de densidad de flujo medidas (ordenada) contra los de la NED (abscisa), ambos en Janskys (Jy). En línea continua se tiene la gráfica función  $y = x$  alrededor de la cual se dispersan los valores de densidad de flujo. Se ha etiquetado cada punto indicando el filtro y la misión correspondiente.

específicamente en Janskys (Jy) o equivalentemente en  $\text{ergsec}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{\AA}^{-1}$ . Estos valores lo comparamos con los valores de referencia obtenidas de la NED. En la Figura 4 se presentan los resultados: Se observa una dispersión de puntos muy próximos a la recta  $y = x$ . Se tiene que las mayores dispersiones corresponden a los filtros WISE\_4, J\_2MASS y nd\_GALEX. Por tanto, se tienen valores que guardan buena relación con los de la bibliografía.

Esto nos permite avanzar hacia el siguiente paso consistente en el cálculo del modelo de mejor ajuste con ayuda de las ecuaciones del (14) al (16). De entre los 864 modelos, corresponde el mejor ajuste a aquel con Chi-cuadrado mínimo, que resultó ser una galaxia en cuya denominación se encuentra varias características resaltantes del mismo, como ser: Tiempo de escape de estrellas masivas igual a  $4 \times 10^7$  años, masa de las nubes moleculares igual a  $3 \times 10^5 M_{\text{sol}}$ , parámetro “ $\nu$ ” de la ley de Schmidt (6) igual a 3.2, por tanto, la galaxia tiene una alta eficiencia de formación estelar, parámetro “ $\tau$ ” igual a 1.2 Gyr correspondiendo esto a una alta tasa de acrecimiento del gas de la galaxia, y el grado de inclinación de la galaxia es de 75 grados.

Todos estos valores corresponden a parámetros libres, no así la edad de la galaxia fijada para todos los modelos en 14Gyr años. En este punto es

**Comparación entre la SED medida y la del modelo mejor ajuste**



**Figura 5.** Gráfica de comparación entre la SED medida y la del modelo de mejor ajuste. Las longitudes de onda están en una escala logarítmica (abscisa) al igual que las densidades de flujo (ordenada). Se han calculado el error para cada densidad de flujo medida indicada por las barras correspondientes.

importante analizar la SED del modelo de mejor ajuste y compararlo con la correspondiente a los valores medidos en la fotometría, en la Figura 5 se presenta los resultados. Se observa una buena correspondencia entre las densidades de flujo medidas y la SED del modelo de mejor ajuste, sobre todo a altas longitudes de onda.

**Comparación entre la SED medida y la del modelo de mejor ajuste**

La dispersión aumenta para longitudes de onda menores, específicamente en 1540 Å, 2280 Å y 3540 Å del ultravioleta lejano/cercano de GALEX y el filtro *u* del SDSS respectivamente. Este resultado muestra un buen ajuste entre la SED sintética de GRASIL y la SED derivada de la fotometría con un coeficiente de correlación calculado de  $R^2=0.792$ , respaldando de esta

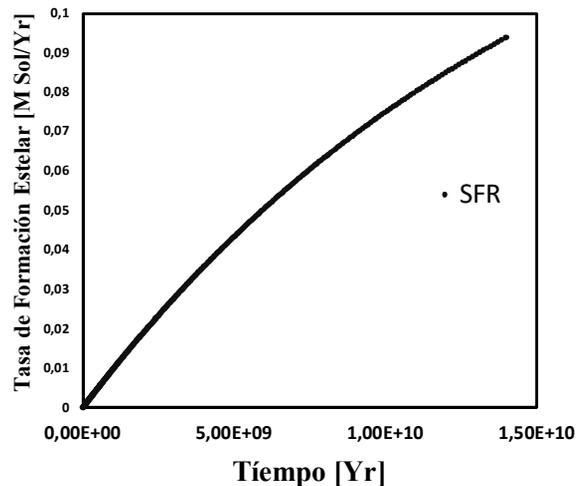
forma los parámetros descritos anteriormente. Podemos ver que la curva tiene una pendiente que asigna mayores valores de densidad de flujo a menores longitudes de onda. Esto sería consistente con la alta SFR de la galaxia, generándose así más emisiones en altas energías, generado por estrellas jóvenes.

Seguidamente pasaremos a analizar otro resultado que se desprende del modelo GRASIL de mejor ajuste como ser la historia de la tasa de formación estelar (SFRH del inglés Star Formation Rate History). En la Figura 6 se aprecia la SFRH. Se tiene un lento crecimiento de la SFR durante un periodo de unos 14 Gyr hasta una tasa actual del orden de los  $0.094 M_{\text{sol}}/\text{yr}$ , a partir del valor de SFR constante de  $1 \times 10^{-4} M_{\text{sol}}/\text{yr}$  sugerido por Legrand *et al.* (2000), que se aprecia al inicio de la formación de la galaxia, pero recién después de unos 10 Myr de la formación de la misma.

Esta tasa va incrementándose gradualmente hasta la actualidad alcanzando el valor antes mencionado. Otro valor de referencia lo proporciona Annibaldi *et al.* (2013) con una tasa promedio de  $1 M_{\text{sol}}/\text{yr}$  durante los últimos 10 Myr en el cuerpo principal, esta alta tasa justificaría el color azul de la galaxia y el alto contenido de gas ionizado. Mientras tanto, generalmente una actividad muy inferior es encontrada en el cuerpo secundario o tercera componente con un promedio de  $0.8 \times 10^{-3} M_{\text{sol}}/\text{yr}$  también durante los últimos 10 Myr.

Estas tasas disminuyen si se considera periodos de tiempo entre 10-100 Myr a  $38.9 \times 10^{-3} M_{\text{sol}}/\text{yr}$  para el cuerpo principal (límite inferior). Para edades del

**Historia de la tasa de formación estelar (SFRH)**



**Figura 6.** Gráfica de la tasa de formación estelar SFR (ordenada) contra el tiempo (abscisa).

orden de los 10 Gyr se tiene como límite inferior una tasa del orden de  $1 \times 10^{-4} M_{\text{sol}}/\text{yr}$  también para el cuerpo principal.

Estos valores muestran coincidencias generales con los valores del modelo de mejor ajuste en las tasas iniciales de formación estelar y en el límite inferior para tiempos de entre 10-100 Myr.

Las discrepancias aparecen en los últimos 10 Myr y esto podría guardar relación con la forma de la realización de la fotometría en el presente trabajo, abarcando la totalidad de la galaxia en las aperturas utilizadas, mientras los valores de Annibali *et al.* (2013) se refieren a estudios realizados en regiones bien específicas de IZw18.

### CONCLUSIONES

Mediante el estudio fotométrico multifrecuencia de la galaxia irregular IZw18 se ha podido obtener los valores de densidad de flujo en diferentes longitudes de onda, los cuales mostraron buen ajuste con los valores de la bibliografía. Luego se pudo ajustar estos valores a diferentes modelos sintéticos generados por el código GRASIL y seleccionar el modelo de mejor ajuste mediante una estadística bayesiana. Posteriormente el modelo seleccionado ha proporcionado una *Spectral Energy Distribution* (SED) que ha mostrado un máximo hacia longitudes de onda menores, consistente esto último con la alta eficiencia de formación de estrellas de la galaxia. La historia de la tasa de formación estelar (SFRH) muestra una formación estelar muy antigua del orden de los 14 Gyr tal como lo sugieren trabajos recientes, aunque las tasas que sugieren el modelo difieren de los valores de la bibliografía. Esto último se debería a la forma de realización de la fotometría abarcando la totalidad de la galaxia en la apertura.

### AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y al Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA), en la persona de: Jorge Iglesias Páramo, por sus valiosas aportaciones para la realización de este trabajo. A la Universidad Internacional de Valencia (VIU), por darme la oportunidad de formarme en esta rama tan hermosa de la Ciencia. A la Facultad

de Ciencias Exactas y Naturales FACEN en las personas del Prof. Tomás Rolón, Justo Lambaré y Julio Aguiar por motivarme a avanzar en el campo de la ciencia. Al Prof. Fredy Doncel por los años de trabajo y aprendizaje compartidos en el observatorio astronómico de la Facultad de Politécnica-UNA.

### LITERATURA CITADA

- Aloisi, A., Clementini, G., Tosi, M., Annibali, F., Contreras, R., Fiorentino, G., Mack, J., Marconi, M., Musella, I., Saha, A., Sirianni, M. & van der Marel, R.P. (2007). IZw18 revisited with HST ACS and Cepheids: New distance and age. *The Astrophysical Journal Letters*, 667(2): L151-L154.
- Annibali, F., Cignoni, M., Tosi, M., van der Marel, R.P., Aloisi, A., Clementini, G., Contreras Ramos, R., Fiorentino, G., Marconi, M. & Musella, I. (2013). The Star Formation History of the Very metal-poor blue compact dwarf IZw18 from HST/ACS data. *The Astronomical Journal*, 146(6):144: 13pp.
- Berry, R. & Burnell, J. (2002). *The Handbook of Astronomical Image Processing*. Primera edición. Estados Unidos de América: William-Bell, Inc. 624 pp.
- Cannon, J.M., Skillman, E.D., Garnett, D.R. & Dufour, R.J. (2002). Dust in IZw18 from Hubble Space Telescope Narrowband imaging. *The Astrophysical Journal*, 565(2): 931-940.
- Contreras Ramos, R., Annibali, F., Fiorentino, G., Tosi, M., Aloisi, A., Clementini, G., Marconi, M., Musella, I., Saha, A. & van der Marel, R.P. (2011). Spatial Distribution of the Stellar Distribution and Candidate Star Cluster in the Blue Compact Dwarf IZw18. *The Astrophysical Journal*, 739(2):74: 12pp.
- Gal, R. & Jester, S. (2004). *Sloan Digital Sky Survey (SDSS)*. Disponible en <http://classic.sdss.org/dr3/algorithms/fluxcal.html>. [Consultado: 15 de agosto del 2015].
- Gil, S. & Rodríguez, E. (2001). *Física re-Creativa: Experimentos de Física Usando Nuevas Tecnologías*. Primera edición. Buenos Aires: Prentice Hall. 355 pp.

- Gutierrez, A. & Moreno, H. (1980). *Astrofísica General*. Primera edición. Santiago: Editorial Universitaria. 664 pp.
- Hunter, D.A. & Thronson, H.A. (1995). The massive star of IZw18 as seen in Hubble Space Telescope Images, *The Astrophysical Journal*, 452: 238-252.
- Kunth, D. & Sargent W.L.W. (1986). IZw18 and the existence of very poor metal blue compact dwarf galaxies. *The Astrophysical Journal*, 300: 496-499.
- Legrand, F. (2000). On the star formation history of IZw18. *Astronomy and Astrophysics*, 354: 504-512.
- National Optical Astronomy Observatory (2015). *Image Reduction and Analysis Facility (IRAF)*. Disponible en: <http://iraf.noao.edu/>. [Consultado: 12 de agosto del 2015].
- Neff, S. & Myers, J.D. (2012). *Galaxy Evolution Explorer (GALEX)*. Disponible en <http://galexgi.gsfc.nasa.gov/docs/galex/FAQ/>. [Consultado: 12 agosto del 2015].
- Santini, P. (2014). *Spectral Energy Distribution of galaxies*. Lectures, 2013-2014.
- Silva, L. (2009). Multi-Wavelength modelling of dusty galaxies. GRASIL and applications. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de conferencias)*, 37: 83-93
- Silva, L., Granato, G.L., Bressan, A. & Danese, L. (1998). Modeling the effect of the dust on Galactic Spectral Energy Distributions from the Ultraviolet to the Millimeter Band. *The Astrophysical Journal*, 509(1): 103-117.
- Skrutskie, M.F., Cutri, R., Green, B. & Stiening, R. (2006). *The Two Micron All Sky Survey at IPAC (2MASS)*. Disponible en <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/>. [Consultado: 12 de agosto del 2015].
- Vilchez, J.M. & Iglesias Páramo, J. (1998). Bi-dimensional Spectroscopic Mapping and Chemical Abundances of the Star-forming Dwarf Galaxy IZw18. *The Astrophysical Journal*, 508(1): 248-261.
- California Institute of Technology (2015). Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE). Disponible en <http://wise2.ipac.caltech.edu/docs/release/> [Consultado: 14 de agosto del 2015].

## Estudio del grado de contaminación por hierro en el Acuífero Patiño en pozos profundos de la zona de Luque

### A study of the contamination degree by iron in the Patiño Aquifer in deep wells in the Luque area

Nilsa Concepcion Ortigoza Caceres\*

\*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción, Campus Universitario, San Lorenzo, Paraguay. Email: nilsa-cortigoza@hotmail.com

**Resumen:** En la ciudad de Luque hay una creciente utilización de las aguas subterráneas para provisión de agua potable, debido al crecimiento poblacional, y se generan problemas potenciales de sobreexplotación, que convierten además a algunas de las localidades estudiadas en sistemas que se encuentran vulnerables y expuestos a sufrir riesgos de contaminación. En este trabajo se aplican metodologías sencillas de investigación para la determinación del grado de contaminación por Hierro (Fe), que podrían aplicarse también a otras zonas del acuífero. La utilización del método GOD, permitió zonificar las áreas de acuerdo a su grado de vulnerabilidad y la representación en mapas basados en tipos de cargas contaminantes de toda el área; esta técnica también puede aplicarse otros tipos de especies químicas que provienen de las contaminaciones naturales y antrópicas. Para las zonas donde se han encontrado altas concentraciones de Hierro, se plantean acciones para monitorear el problema. En general los valores de Hierro en aguas subterráneas de Luque varían desde normales con un mínimo de 0,18 mg/l y valores anormalmente alto de 1,03 mg/l en pozo del tercer Barrio.

**Palabras clave:** Acuífero Patiño, Contaminaciones antrópicas, piezómetros, método de GOD.

**Abstract:** In the city of Luque there is a growing use of groundwater for the provision of drinking water, due to population growth, and potential overexploitation problems are generated, which turn some of the studied localities into systems under risk of contamination. In this work, simple research methodologies are applied to determine the degree of contamination by iron (Fe), which could also be applied to other areas of the aquifer. The use of the GOD method allowed to zonify the areas according to their degree of vulnerability and the representation in maps based on types of pollutant loads of the entire area; This technique can also be applied to other types of chemical species that come from natural and anthropic contaminations. For areas where high concentrations of iron have been found, actions are taken to monitor the problem. In general, Iron values in Luque waters vary from normal with a minimum of 0.18 mg / l and abnormally high values of 1.03 mg / l in Tercer Barrio.

**Key words:** Patiño aquifer, anthropogenic contamination, piezometers, GOD method.

## INTRODUCCIÓN

El Acuífero Patiño es la fuente de abastecimiento de agua más importante de las ciudades que abarcan el Departamento Central, entre las cuales se halla asentada la ciudad de Luque, además abastece al sector industrial, comercial y agropecuario de las distintas compañías y barrios. Esta agua puede extraerse fácilmente mediante pozos perforados y someros que constituye una buena parte del aprovisionamiento por medio de las distintas Empresas Privadas que se encargan de las distribuciones de agua potable denominadas aguaterías, así como de las Juntas de Saneamiento representando un papel

fundamental en el bienestar de la población de la ciudad de Luque.

La extracción masiva de agua del acuífero Patiño suscita cierto temor en relación a las provisiones de agua futura. El Grado de Vulnerabilidad del Acuífero Patiño es mayor por tratarse de un acuífero libre por lo que existe una menor protección natural en la zona de aireación.

Existen trabajos bibliográficos realizados sobre Presencia de Hierro en Aguas Subterráneas en parte del territorio paraguayo y ciertos sectores del Nordeste Argentino (Lafleur, 1995). El estudio de Riesgos a la Contaminación del Acuífero Patiño en

Recibido: 15/06/2018    Aceptado: 26/11/2018



el Campus Universitario- UNA. , estudió la calidad del agua tomando aspectos físicos, químicos y Bacteriológico, además la utilización del método de DRASTIC, clasificando las potenciales cargas de contaminantes en el Acuífero Patiño (Gadea, 2007). Otros estudios realizados sobre Vulnerabilidad y riesgo a la Contaminación del sistema Acuífero de Filadelfia del Chaco Central, con la aplicación del método de GOD (Godoy & von Hoyer, 1995).

El Agua Subterránea del Acuífero Patiño en el Área Metropolitana del Gran Asunción, este trabajo está relacionado a la explotación, y características geoquímicas y la metodología utilizada en la operación y control del agua subterránea que se destina al abastecimiento de la población del área metropolitana del Gran Asunción Paraguay (Acosta et al. , 2000).

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar los niveles de concentración de hierro en aguas subterráneas y la vulnerabilidad del acuífero Patiño a partir de datos de pozos profundos de algunas localidades de Luque. Para cumplir con el objetivo de este trabajo de investigación se realizarán análisis de agua de pozos profundos y suelos de algunas zonas de la ciudad de Luque. Se utilizará el modelo hidrogeológico de GOD por ser uno de los métodos más sencillo para la determinación de Grado de Vulnerabilidad lo cual nos permitirá de la construcción de Mapas de Vulnerabilidad. Con los resultados obtenidos nos permitirán la aplicación de herramientas sencillas de la estadística descriptiva, con gráficos de línea realizar comparaciones con respecto al valor permitido de Hierro en agua y observar el comportamiento con respecto al tiempo.

Cuando las sales de hierro se hallan disueltas en el agua y la concentración de los iones del hierro exceden los umbrales permitidos para el consumo humano, se habla de contaminación. Se puede mencionar que las disoluciones del hierro son provenientes de las disoluciones de las rocas, que ocasiona alteración en las propiedades físicas como la aparición de partículas en suspensión denominados coloides; variaciones en el color provocando impregnación en las ropas lavadas, confieren un intenso sabor metálico, convirtiéndose en uno de

los elementos químicos que confiere al agua la propiedad de ser Agua Dura. Los compuestos de hierro, son rojos corrosivos que tiñen y provocan el bloqueo de pantallas, bombas, tuberías y sistemas de recirculación y daños severos en instalaciones domiciliarias, etc. Si los depósitos de hidróxido de hierro se producen por bacterias del hierro entonces son depósitos pegajosos, desagradables que ocasionan los problemas mencionados. El uso Industrial del agua se ve afectado por el hierro pues es seria la situación para las industrias de bebidas, fábricas de pasta de papel, lavanderías, industrias textiles.

En el acuífero Patiño existen antecedentes de altos tenores de hierro evidenciando problemas en las instalaciones domiciliarias, por lo cual importante el estudio de la carga de contaminación natural en función del mismo, además soporta una serie de impactos adversos como la sobreexplotación. Existen pocos datos actualizados de carga de contaminantes en general y casi no hay trabajos realizados sobre determinaciones de hierro como contaminantes provenientes de acciones naturales en el acuífero Patiño, y hasta qué punto influirá en la recarga de agua potable del acuífero Patiño. La precipitación del hierro en el acuífero tiene un ligero efecto sobre la permeabilidad del estrato y se calcula que la vida útil del pozo es mucho menor que el periodo crítico de obturación de la capa acuífera.

Con este Trabajo de Investigación se pretende seguir estudiando el grado de contaminación del acuífero Patiño de las localidades de la ciudad de Luque, tomando como posibles contaminantes al hierro proveniente de la contaminación natural. Además ante la ausencia de programas estratégicos de gestiones que incluyan monitoreo de las aguas en los pozos del acuífero Patiño pertenecientes a zonas de la ciudad de Luque donde se evidencien las concentraciones de hierro que sobrepasen los límites permitidos por las reglamentaciones de Aguas Potables en Normas Paraguaya, proponer Sistemas de tratamiento fisicoquímico o filtros integrados a la salida del tanque de distribución domiciliarias a fin de lograr minimizar las concentraciones excedidas del hierro. Ausencia de Perímetros de los pozos a fin de minimizar los riesgos de contaminación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para los datos primarios se consideró los valores arrojados de Hierro en muestras de agua de pozos y suelos de las diferentes localidades y como complemento los análisis físicos químicos, bacteriológico y para los secundarios fue la recopilación de información. Este trabajo fue desarrollado en etapas.

La primera fue la de recopilación de informaciones, dichas informaciones se encuentran principalmente en el Servicio de Saneamiento Ambiental y Salud (SENASA), consistente en registro de banco de datos que cuenta la institución, la elección de las diferentes localidades de Luque conforme a los datos de coordenadas asentados en el registro de banco de datos de SENASA.

### Ubicación del área del estudio

Este estudio se llevó a cabo en la ciudad de Luque en las localidades que se dividen en áreas urbanas y áreas rurales.

#### Áreas Urbanas

Tercer Barrio de Luque: Centro de Distribución de ESSAP: PZ1 y PZ 2.

Hospital Regional de Luque: PZ1.

Campo Grande: Parque Ñu Guazú: PZ3.  
Ministerio de obras públicas y Comunicaciones (MOPC)/SENASA.

Campo Grande Jhugua de Seda: Estatic Media. S. A: Campo Grande Villa Policial: Colegio de Policía Áreas Sub Urbanas.

Ycuá Dure: PZ3 y PZ4. Estas localidades corresponden a áreas urbanas Marambure: PZ1.

#### Áreas Rurales

Cañada Garay: PZ1, PZ2, PZ3

Itapuami: PZ1

Marín Caaguy: PZ1, PZ2

Itangua: PZ1

La Segunda fue la de localización de los pozos a ser muestreados conforme a las coordenadas sustraídas del banco de datos de SENASA y algunos

registros proveídos por empresas privadas perforistas con GPS Gamín/GPSMAP 76CSx, incluyendo la solicitud de permiso en entrevistas personales con los miembros de las Juntas de saneamiento de cada localidad. Una vez obtenido los permisos correspondientes se procedió a coleccionar las muestras.

El procedimiento en la toma de muestra fue la de coleccionar de la boca de pozo o llave de purgación realizando esterilización del mismo flameando con llama y coleccionando 100 ml las muestras en frascos estéril de plástico para análisis bacteriológico, y 1 litro para el análisis fisicoquímico de Fe Total en frascos de plásticos, refrigerados a 4 °C, fueron llevados al laboratorio para el análisis químico y bacteriológico.

De cada Localidad se realizó tomas de muestras 100 gramos suelo en frasco de plástico de boca ancha para análisis químico del mismo.

La tercera etapa fue la de realizar análisis laboratoriales, las determinaciones de cada parámetro fueron realizadas por triplicado. El grado de precisión del análisis de Fe total en agua y Fe soluble en suelo es del orden de  $\pm 0.01$

### Procedimientos de Laboratorio: Determinaciones

#### Determinación de Parámetros Físicos

**pH:** Para lo cual se utilizó un equipo de determinación de pH, de la marca Metrom. Método electrométrico, en un volumen de 50 ml de agua se introduce el electrodo lo cual entrega la lectura directa, previa calibración del equipo con soluciones bufferizadas en zonas de pH 4 y pH 10.

**Conductividad:** Se utilizó 50 ml de muestras de aguas, se introduce en el vaso el electrodo y se realiza lectura directa de las muestras, previa calibración del equipo marca Quimis con solución de KCl 3 M.

#### Determinación de Parámetros Químicos

##### Alcalinidad Total: Método Volumétrico y Reacción

**Ácido Base:** Se tomaron 100 ml de las muestras colocando dos a tres el indicador Mixto (rojo de metilo-verde de bromocrezol) para la zona de viraje, se titula con Ácido Sulfúrico 0,02 N, se

estandariza la solución de ácido sulfúrico 0,02 N con una solución de carbonato de sodio 0.02 N.

**Dureza, Calcio. Método Volumétrico. Complejometría:** Tanto para Calcio y Dureza se toma un volumen de 50 ml de muestras de agua. Para Dureza se coloca 2 gotas el indicador negro de eriocromo T, se titula con solución de EDTA, hasta alcanzar el punto final. Para calcio se agrega 1 ml de NaOH 0.1 N, 0,2 gramos del indicador se titula hasta alcanzar el punto final. Para Ambos casos se procesan los volúmenes consumidos aplicando fórmulas matemáticas.

Para la determinación de magnesio se obtiene a través de operaciones matemática entre el valor de la dureza y el calcio.

**Sulfato: Método Espectrofotométrico:** Se tomaron 100 ml de las muestras de aguas, se le agregó 5 ml de solución acondicionadora de Cloruro de sodio disuelto en glicerina y etanol, agregar 0,2 gramos de  $\text{BaCl}_2$  agitando por 10 minutos se lleva a lectura de transmitancia en el espectrofotómetro a 420 nm. de longitud de onda. Del mismo modo preparar la curva de calibración con soluciones patrones de sulfato de potasio. Por medio de cálculos matemáticos se determina la concentración de  $\text{SO}_4^{=}$  en mg/L

**Hierro Total en Agua:** El método realizado es espectrofotométrico el de la ortofenantrolina. Se prepararon curvas de calibración para las lecturas en el equipo a una longitud de onda de 410 nm junto con las muestras que previamente se realizaron digestiones ácidas con hidroxilamina para que todo el contenido de hierro sea reducido a  $\text{Fe}^{+2}$ , en medio bufferizado (pH entre 3 y 9), para el desarrollo de color con ortofenantrolina. Las lecturas obtenidas por medio de fórmulas matemáticas se calculan la concentración de Hierro en mg/L.

**Determinaciones de Hierro Total soluble en muestras de suelo:** Se realizaron análisis de Hierro Total soluble de muestras de suelo, la metodología utilizada fueron extracciones ácidas con agitaciones mecánicas por 30 minutos cada muestras, filtración de las muestras extraídas para luego aplicar el método espectrofotométrico el de formación de complejos coloreados por la ortofenantrolina, para la lectura a una longitud de onda 410 nm, con las

lecturas obtenidas después del desarrollo de color por medio operaciones matemáticas se obtiene las concentraciones en mg/g de Hierro soluble total.

### **Determinación Bacteriológica**

**Coliformes Fecales:** Se realizaron a modo de determinar contaminación Fecal. Sobre muestras filtradas en membranas de 0,45 micras de celulosas de 100 ml de aguas colectadas en frascos estéril se deposita en capsulas de Petri con medio de cultivo M-FC (preparada de calidad pura en medio de NaOH al 0,2 N y ácido rosólico al 1 %), se lleva a la estufa por 48 hs a una temperatura de 44,5 °C, luego se realizó

el conteo por cuadrantes, por medio de operaciones matemáticas la cantidad de bacterias fecales sembradas y se informa unidades formadoras de colonias por cada 100 ml de muestras (ufc/100 ml).

**Aplicación de Método de GOD:** Se aplicó el método de GOD, a los pozos muestreados en su gran mayoría pertenecientes a los sistemas de abastecimientos de las Juntas de saneamiento, Essap, Colegio de Policía, Parque Ñu Guazú, Empresa Privada Estatic. S. A, en base a la Información litológicos (Perfiles litológicos) proveídos por SENASA.

De cada Pozo se tuvo en cuenta el Grado de confinamiento Hidráulico, la característica litológica de la zona no saturada es decir la distancia al nivel del agua, el nivel estático del agua. El producto de los valores numéricos arrojados entrega el coeficiente de GOD indicando el grado de vulnerabilidad de los pozos perforados en las diferentes localidades de Luque.

**Cálculos de GOD realizados en los pozos:**  
 $V = G * O * D = Y_{cua} \text{ Dure-3. Nivel Estático} = 15,6$   
 (Acuífero Libre=1.0)  $\times 0.75$  (areniscas)  $\times 0.8$   
 (NE=15.6) = 0.6 Vulnerabilidad alta.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Tabla 1 de datos de análisis físico químico: podemos observar que el pH mínimo es de 5,73 en la localidad Marambure y un pH máximo de 6,83 del pozo de Estatic Media S. A que corresponde a la localidad de Jhugua de Seda.

Los valores de pH obtenidos en las distintas

Tabla 1. Datos de determinaciones físicas y químicas en aguas subterráneas de las localidades de Luque.

Localidades	Fe T. Agua mg/L	Fe T. suelo mg/g	pH	Cond. µ s/cm	A.T. mg/L	D.T mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> mg/L	Temp. agua	C.F. µfc/100 ml	Cód.
Essap1 3er B.	0,4	4,28	6,05	169,7	41,67	28	13	3,6	4	18,5	0	PZ1
Essap 2 3er B.	1,03	4,25	6,12	115,1	13,33	12	8	0,97	2	18,6	0	PZ2
Ycuá Dure	0,55	5	6,08	79,4	11,67	14	4	2,4	1	15,9	0	PZ3
Ycuá Dure	0,24	4,1	5,88	79	10,8	13	2,8	2,5	0,8	18,8	25	PZ4
Marambure	0,18	11,24	5,73	154,5	19,1					19,3	140	PZ1
Cañada Garay	0,24	18,92	5,77	64,4	***					19,2	5	PZ1
Cañada Garay	0,21	2,83	5,84	64,1	***					18,9	0	PZ2
Cañada Garay	0,24	1,12	5,88	61,7	***					18,8	40	PZ3
Ytapuami	0,3	3,76	5,92	124,4	***					18,2	2	PZ1
Marín Caaguay	0,23	1,22	6,4	194	***					18,5	0	PZ1
Marín Caaguay	0,38	2,79	5,81	67,8	***					19,00	17	PZ2
Itá angu'a	0,34	0,55	6,14	51,5	****					18,00	0	PZ1
Hospital de Luque	0,37	3,8	5,86	174,8	***					18,5	990	HR
Estatic Media	0,57	3,74	6,83	54,6	28,75	15	6	2,2	1,7	17,5	0	EsM
Colegio de Policía	0,58	3,4	6,66	242	123,75	135	37	24	4	18,00	665	CP
Parque Ñu guazú	0,76	4,5	6,06	131,6	31,25	46	18	6,8	13	18,00	0	PÑG3
Tanque Casa	1,71	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----
Fecha de Muestreo	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17	08/05/17

localidades de la Ciudad de Luque se encuentran en un rango débilmente ácido a neutro, lo que podría indicar la presencia de  $\text{HCO}_3^-$  y vestigios de  $\text{CO}_2$  de acuerdo al diagrama de equilibrio de especies iónicas representadas en los valores AT (Anexo A2), por lo cual se realizó la determinación de especies iónicas, como la dureza total en forma de  $\text{CaCO}_3$ , pero sin dejar de lado los valores de pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  que podrían interferir en la oxidación de las especies iónicas del hierro.

Realizando descripciones individuales las concentraciones del Hierro Total en las muestras de agua, los valores no representan concentraciones muy altas debido a que la norma de la OMS establece valores menores a 0,3 mg/L y la regida en Paraguay el nivel permisible es de 0,3 mg/l, en el PZ1 del 3er Barrio se obtuvo en valor de 0,4 mg/L, comparando PZ2 en donde se evidencio alta concentración.

En el centro de distribución de Essap se eleva al tanque el agua de 5 pozos ubicados en la ciudad y la mezcla de los mismos es lo que se distribuye en las principales zonas de Luque, al contrario del pozo 2 ubicado en el mismo terreno cuya distancia podría ser determinada por las coordenadas del pozo 1, arrojó un valor de 1.03 mg/l de hierro total el cual posee características de ser pozo somero por encontrarse en contacto con el oxígeno del aire, recirculando el agua continuamente, el pozo se encuentra en desuso, no se pudo conseguir información al respecto.

El pozo 3 asentado en la localidad de Ycua Dure se obtuvo un valor de 0.55 mg/l de Fe Total, excedido en 0.25 mg/l, lo cual guarda relación con la litología descrito en el perfil del pozo compuestas por areniscas media a gruesa marrón rojizo, compacta con gránulos cuarzosos, areniscas marrones rojiza fina a media, indicador del valor excedido del Fe en las aguas.

En cuanto al pozo 4 de Ycua Dure arrojó un valor de 0.24 mg/l de hierro total valor bajo con respecto al pozo 3. Los pozos asentados en Cañada Garay, Marambure, Itapuami y Marín Caaguay-Pozo 1 arrojaron valores dentro de los límites permitidos. Los valores de Hierro en el pozo 2 de Marín Caaguay,

en el pozo 1 de Itá angu'a y el hospital regional de Luque se obtuvieron valores en el orden de 0.34 a 0.38 mg/L, excediendo en cantidades ínfimas de concentraciones con respecto al nivel permitido.

El pozo muestreado en la localidad de Jhugua de Seda Campo Grande, correspondiente a la Empresa Privada Estatic Media se obtuvo valores de 0.57 mg/L, y el Colegio de Policía concentraciones de 0.58 mg/L; estos pozos pertenecen a suelos areno arcillosos de colores rojizos lo cual representan indicios de presencia de hierro y favoreciendo las disoluciones del hierro en las aguas de estas localidades permitió evidenciar a través de análisis químico, altas concentraciones de hierro del orden de 3,4 a 3.7 mg/g en muestras de suelo, con valores de pH del orden de 6.06 a 6.86.

En la muestra extraída del pozo del Parque Ñu Guazú se obtuvieron valores de 0.76 mg/L de hierro Total cuyo valor excede en 0.46 mg/L con respecto al nivel permitido. En general los valores de  $\text{SO}_4$  determinados en los pozos de las distintas localidades se encuentran dentro de los valores permisibles en muestras de aguas subterráneas no siendo importante para facilitar la oxidación de los Iones  $\text{Fe}^{+2}$  a  $\text{Fe}^{+3}$ . Los valores de Dureza Total, Ca, Mg y los valores de Alcalinidad Total se encuentran en rangos bajos por tanto no confieren Dureza al agua. La Conductividad del agua varía entre 54,60 us/cm a 242 us/cm, reflejando bajamineralización.

Los pozos valores de Cp. y EsM. resultaron con altos valores de coliformes fecales producto de las descargas de fosas sépticas. No obstante, esta contaminación está controlada, es debida a que el agua de los mimos son aguas que prácticamente no se utilizan en forma continua en ambos lugares son destinados a limpieza y regadío. A modo de obtener información complementaria y demostrar que la presencia de hierro en el agua subterránea es problema que persiste en el área de estudio, se realizó el análisis de agua de un tanque domiciliario, distribuida por ESSAP en la localidad del 3er barrio. El contenido de hierro en la muestra arrojó valor de 1,71 mg /l; este valor podría deberse a que en el tanque se depositan Hidróxido de hierro el agua la que se trata con

**Tabla 2.** Valores promedio de Fe Total en aguas subterráneas y suelo de las localidades de Luque.

Localidades	Fe Total en agua (mg/l)	Valor permitido (0,3 mg/l)	Fe total en suelo mg/g
Essap 1 3er B.	0,40	0,3	4,28
Essap 2 3er B.	1,03	0,3	4,25
Ycuá Dure 3	0,55	0,3	5,00
Ycuá Dure 4	0,24	0,3	4,10
Marambure	0,18	0,3	11,24
Cañada Garay 1	0,24	0,3	18,92
Cañada Garay 2	0,21	0,3	2,83
Cañada Garay 3	0,24	0,3	1,12
Ytapuami	0,30	0,3	3,76
Marin Caaguay 1	0,23	0,3	1,21
Marin Caaguay 2	0,38	0,3	2,79
Itá angu'a 1	0,34	0,3	0,55
Hospital de Luque	0,37	0,3	3,80
Estatic Media SA	0,57	0,3	3,74
Colegio de Policía	0,58	0,3	3,40
Parque Ñu guazú	0,76	0,3	4,50
Promedio	0,41	---	4,72
Valor Mínimo	0,18	---	0,55
Valor Máximo	1,03	---	18,92
Varianza	0,05		19,96
Desviación Estándar	0,23		4,47

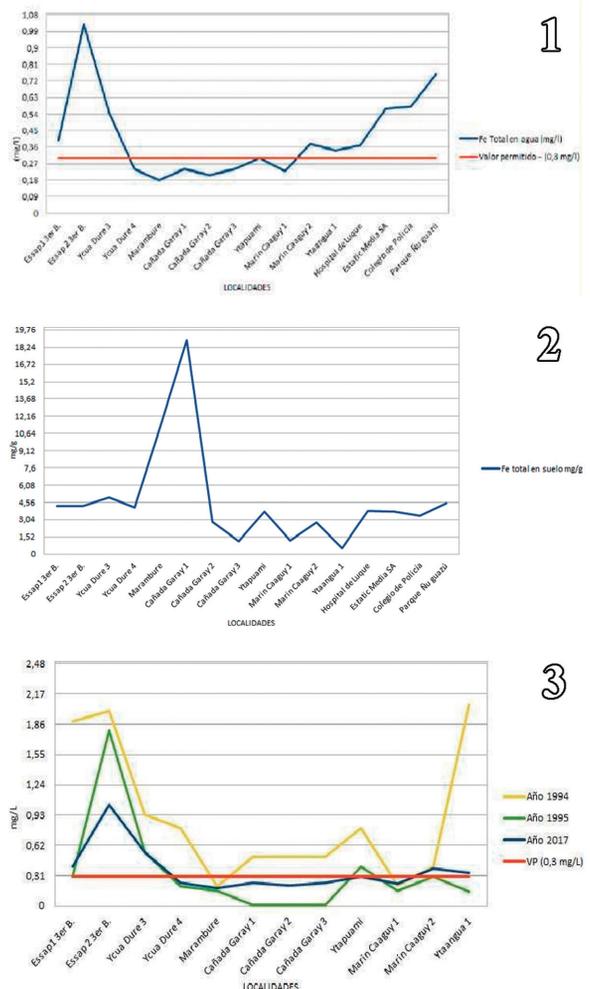
hipoclorito de sodio para la desinfección del mismo, esto acelera la oxidación del Hierro, que se encuentran en disolución.

Así como se observa en la Tabla 2, en general se obtuvo un valor mínimo de 0,18 mg/l perteneciente a la localidad de Marambure y un valor máximo de 1,03 al 3er Barrio del pozo ESSAP. , con valor promedio de 0,41 mg/l de Fe Total en agua en la ciudad de Luque, con una Desviación Estándar

de 0,23. En la Figura 1 se observan los pozos que sobrepasan los valores de Fe Total en agua de los límites permisibles.

En la Figura 2 Gráfica de. Distribución de Fe Total en suelo de las diferentes localidades de Luque. En general se observa un valor máximo de 18,72 mg/g en la localidad de Cañada Garay, con un valor mínimo en la localidad de 0,55 mg/g en la localidad de Itá angu'a. Con una media de 4,72 mg/g en la ciudad de Luque y una Desviación Estándar de 4,42.

En la Figura 3 Gráfica de Distribución de Fe Total en agua por año se observan que se mantienen las concentraciones de Fe en su gran mayoría



**Figuras 1-3.** Gráficas de distribución de Fe Total en las diferentes localidades de Luque. 1) En aguas subterráneas. 2) En suelo. 3) En agua por Año.



**Tabla 3.** Determinación de los índices de vulnerabilidad GOD a partir del perfil litológico.

Localidad	Código	Coordenadas UTM		Cota (m)	Nivel Estático (m)	Vulnerabilidad GOD
		Este	Norte			
3er Barrio	PZ1	450585	7204490	145	22,0	0,13.Baja
3er Barrio	PZ2	450547	7204514	Surgente	21,0	En desuso
Ycuá Dure	PZ3	451631	7203695	126	15,0	0,6.Alta
Ycuá Dure	PZ4	451707	7203946	119	10,0	0,14.Baja
Marambure	PZ1	453194	7204794	129	18,4	0,36.Moderada
Cañada Garay	PZ1	454185	7206500	107	1,80	0,16.Baja
Cañada Garay	PZ2	454623	7206386	108	1,15	0,16.Baja
Cañada Garay	PZ3	453368	7207661	134	1,30	0,16.Baja
Itapuami	PZ1	455926	7211876	119	18,9	0,6.Alta
Marín Caagy	PZ1	455086	7208744	119	6,9	0,6.Alta
Marín Caagy	PZ2	454424	7207979	149	12,0	0,6.Alta
Itá angu'a	PZ1	455730	7207228	122	21,1	0,53 Moderada
Hospital Regional	HR	451323	7203654	120	14,0	0,14.baja
Campo Grande	CP	446801	7202889	133	13,0	0,6 Alta
Jhugua de Seda	EsM	448387	7203725	103	12,0	0,6.Alta
Campo Grande	ÑG3	445711	7204973	101	3,0	0,6.Alta

En la Figura 7 se observan las correspondencias de alta, media y baja vulnerabilidad con concentraciones de hierro en suelo

En la Figura 8 se representa valores de pH en muestras de agua de las diferentes localidades donde se observa zonas acidas y valores de Fe bajo en las aguas, representados en el mapa con el color verde; puesto que el Fe permanece en solución por lo cual se evidencia la relación con la baja vulnerabilidad.

En zonas de alta vulnerabilidad se observa aumento de valores de pH, con aumentos de concentraciones de Fe en las aguas.

### CONCLUSIONES

Por medio de este trabajo de Investigación se encontraron diferencias en los niveles de concentración del Hierro en las aguas de las localidades de Luque lo cual permite evaluar el grado de con-

taminación de los mismos, considerando el cumplimiento de los objetivos a través de los resultados, se acepta la hipótesis para algunas localidades como ser Ycuá Dure PZ3 y el Parque Ñu Guazú donde se constató concentraciones de Hierro excedidos por encima del límite permitido por la OMS y las Normas regidas en Paraguay. Para algunas zonas, como Ycuá Dure en el PZ3, Campo Grande PZCP y Jhugua de Seda PEsM, se debe tener en cuenta la litología del suelo que son suelos areno arcillosos, areniscas finas marrón a rojizos motivos suficiente de los medianamente altos niveles de hierro encontrados.

El método de GOD utilizado como instrumento de comparación nos permitió determinar el grado de Vulnerabilidad en las diferentes zonas encontrando desde altas, medianamente moderadas a bajas, por ser un método sencillo, y relacionar con el parámetro en particular es decir el Fe total en las aguas y



**Modelado matemático del índice ultravioleta en la ciudad de San Lorenzo, Paraguay****Mathematical modeling of the ultraviolet index in San Lorenzo city, Paraguay**Abel Delgado<sup>1</sup> & Fernando Mendez<sup>2</sup><sup>1</sup>Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción. Email: abdelgav@gmail.com<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción. Email: fmendez@facen.una.py

**Resumen:** La radiación solar ultravioleta (UV) tiene una importante acción biológica sobre el cuerpo humano. En esta investigación se analizó la variación de los niveles máximos diarios y mensuales de irradiación eritemática para determinar los niveles máximos diarios y mensuales del Índice Ultravioleta, en inglés *UV Index* (UVI), en la Ciudad de San Lorenzo, Paraguay, en días claros durante el periodo 2006 - 2009. Los datos de radiación ultravioleta eritemática fueron adquiridos de la Estación Meteorológica del Laboratorio de Investigación de la Atmósfera y Problemas Ambientales (LIAPA) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN), Universidad Nacional de Asunción (UNA). Dichos datos fueron medidos por un piranómetro modelo UVB-1 de la firma Yankee Environmental Systems (YES). Se realizó un modelado matemático de la serie mensual del UVI mediante la expansión en serie de Fourier. Se pudo observar que los valores del UVI alcanzan una intensidad extremadamente alta (12 unidades) durante el verano, y una intensidad moderada (4 unidades) en invierno. Mediante el estudio del comportamiento de los niveles del UVI, la población puede estar informada acerca de la peligrosidad ante la exposición prolongada a la radiación UV.

**Palabras clave:** Irradiancia eritemática; *UV Index*; días claros; modelado matemático.

**Abstract:** Ultraviolet (UV) solar radiation has an important biological action on the human body. In this research, the variation of the maximum daily and monthly levels of erythematous irradiance was analyzed to determine the maximum daily and monthly levels of the Ultraviolet Index (UVI), in the City of San Lorenzo, Paraguay, on clear days during the period 2006 - 2009. The erythematous ultraviolet radiation data was acquired from the Meteorological Station of the Laboratory for Atmospheric and Environmental Problems Research (LIAPA) of the Faculty of Exact and Natural Sciences (FACEN), National University of Asunción (UNA). These data were measured by a pyranometer model UVB-1 from Yankee Environmental Systems (YES). A mathematical modeling of the monthly series of the UVI was performed through the Fourier series expansion. It was observed that the values of the UVI reach an extremely high intensity (12 units) during the summer, and a moderate intensity (4 units) in winter. By studying the behavior of UVI levels, the population can be informed about the danger of prolonged exposure to UV radiation.

**Keywords:** Erythematous irradiance; *UV Index*; clear days; mathematical modeling.

**INTRODUCCIÓN**

La radiación ultravioleta (UV) forma parte del espectro electromagnético, la cual abarca las longitudes de onda comprendidas entre 100 y 400 nm. Está conformada por tres bandas, estas son la radiación ultravioleta tipo C (UV-C), tipo B (UV-B) y tipo A (UV-A) (WHO, 2002). Se describe cada tipo a continuación.

La radiación UV-C (100 – 280 nm) es la más energética de las radiaciones ultravioleta. Esta radiación es absorbida completamente en la alta atmósfera por el oxígeno molecular, y en la baja atmósfera por el ozono estratosférico.

La radiación UV-B (280 – 315 nm), aunque absorbida en gran parte por el ozono estratosférico, penetra hasta la superficie terrestre en un pequeño porcentaje, alrededor del 10%. Esta cantidad de radiación que alcanza la superficie, daña la piel humana y produce enfermedades oculares, entre otras dolencias.

La radiación UV-A (315 – 400 nm) penetra hasta la superficie terrestre casi en su totalidad, siendo la menos energética de las radiaciones ultravioleta.

Entonces, la radiación UV que alcanza la superficie está compuesta en mayor medida por la

Recibido: 20/8/2013 Aceptado: 23/12/2018



radiación UV-A, y en menor medida por la radiación UV-B.

La radiación UV es beneficiosa para la piel humana en pequeñas dosis, porque estimula la producción de vitamina D. Sin embargo, la exposición continua y prolongada a esta radiación, puede producir enfermedades desde quemaduras cutáneas hasta la aparición de diversos tipos de cáncer de piel, además de dolencias oculares como las cataratas. Las personas de piel blanca y ojos claros, son especialmente vulnerables a la radiación UV (Corrêa, 2003).

El *UV Index* (UVI), es una medida del nivel de radiación UV que llega hasta la superficie terrestre. El UVI es un índice adimensional definido como 40 veces la irradiancia eritémica ( $W/m^2$ ), tal como lo ha establecido la Organización Mundial de la Salud (WHO). Sus valores son expresados como números enteros, generalmente de 1 a 11 o más. Cuanto más altos son sus valores, mayores son los riesgos de desarrollar enfermedades en la piel y en los ojos en los seres humanos. Este índice es un importante método de alerta acerca de la necesidad de la foto protección (WHO, 2002).

En la Tabla 1 se observa las diferentes categorías de exposición a la radiación ultravioleta según WHO. Cuando el UVI arroja valores por debajo de 2, la categoría de exposición se considera baja; entre 3 y 5, es moderada; entre 6 y 7, es alta; entre 8 y 10, muy alta; 11 o más, extrema.

En la Ciudad de San Lorenzo, Paraguay, se ha realizado el análisis de varios métodos estadísticos utilizando regresión lineal aplicado a la serie temporal de la radiación UV-B durante el periodo 1997-2012, en el que esta variable demuestra un comportamiento del tipo sinusoidal, es decir, con máximos en verano y mínimos en invierno (Amarilla, 2015).

En otro estudio se ha realizado un análisis de la irradiancia eritémica basado en modelos de series temporales para determinar los niveles del UVI en el Departamento Central de Paraguay, durante el periodo 1997-2011. Se determinó que la serie de valores máximos diarios del UVI presenta una leve tendencia decreciente a partir del año 2000.

**Tabla 1.** Categorías de exposición a la radiación ultravioleta (adaptada de WHO, 2002).

Categoría de exposición	UV Index
Baja	$\leq 2$
Moderada	3 – 5
Alta	6 – 7
Muy alta	8 – 10
Extrema	$\geq 11$

Además, se observó que el UVI alcanza niveles máximos diarios muy elevados en meses estivales y bajos en meses invernales (Diaz, 2016).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la base de datos de radiación UV-B eritémica ( $mW/m^2$ ) de la Estación Meteorológica del Laboratorio de Investigación de la Atmósfera y Problemas Ambientales (LIAPA) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FACEN) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA). Dichos datos fueron obtenidos mediante un piranómetro modelo UVB-1 de la firma Yankee Environmental Systems (YES), los cuales fueron almacenados en planillas electrónicas formato EXCEL. Esta base cuenta con datos de irradiancia eritémica promediados cada 15 minutos.

El piranómetro UVB-1 es un sensor de banda ancha con un intervalo espectral que abarca longitudes de onda entre 280 y 320 nm, con respuesta coseno de  $\pm 5\%$  para un ángulo cenital inferior a  $60^\circ$ . Debido a sus características, es ideal para operar durante periodos relativamente largos sin necesidad de mantenimiento. Su rango de temperatura es de  $\pm 40^\circ C$ . El instrumento estuvo operativo desde el año 1996 y su última calibración tuvo lugar en noviembre de 2010 (Diaz, 2016).

Para el estudio, se seleccionó los días claros correspondientes al periodo 2006 – 2009. Esto se logró graficando la irradiancia UV-B diaria, promediada cada 15 minutos, en función del tiempo UTC (universal time coordinated). Cuando la gráfica presentaba una forma de campana, el día se

consideraba con cielo claro. Mediante el método propuesto, se pudo determinar la cantidad de 233 días claros para el periodo de estudio.

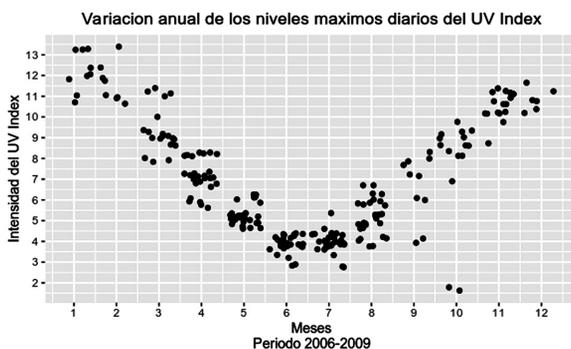
Una vez identificados todos los días claros para el periodo de estudio, se determinó los valores diarios máximos de radiación UV-B. Utilizando la definición del UVI (WHO, 2002), se halló el valor máximo diario del UVI correspondiente a cada día claro multiplicando la irradiancia eritémica máxima diaria por una constante igual a 40.

Utilizando los valores máximos diarios del UVI para días claros, se aplicó la media aritmética para el cálculo de los valores máximos medios mensuales. Se realizó el modelado matemático de la serie de los niveles máximos medios mensuales del UVI utilizando el teorema de Fourier, apto para modelar series periódicas como el UVI.

Para el análisis y el procesamiento de los datos, se utilizó el lenguaje estadístico R.

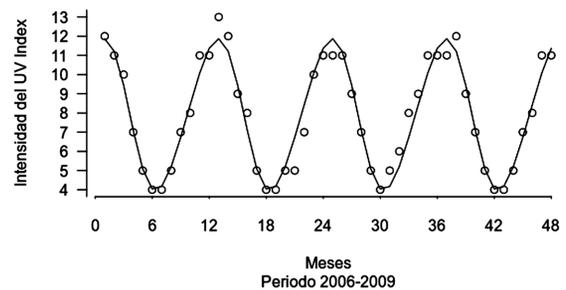
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa la variación anual de los niveles máximos diarios del UVI en el periodo 2006 – 2009. Es posible visualizar que la intensidad del UVI es moderada (3 - 5) desde los inicios de mayo hasta finales de julio; alta (6 - 7) en abril y en agosto; muy alta (8 - 10) en marzo y en los inicios de setiembre hasta finales de octubre; y extrema (11+) de noviembre a febrero. La media de los niveles máximos diarios del UVI para el verano (diciembre, enero y febrero) es 12 unidades (intensidad extremadamente alta), y la media



**Figura 1.** Variación anual de los niveles máximos diarios del UVI en el periodo 2006 – 2009.

## Modelado matemático del UV Index en función del tiempo



**Figura 2.** Modelado matemático de los niveles máximos medios mensuales del UVI en función del tiempo en meses en el periodo 2006-2009.

para invierno (junio, julio y agosto) es 4 unidades (intensidad moderada).

Al considerar la serie de los niveles máximos medios mensuales del UVI, fue posible notar que el periodo que le toma a la serie en completar un ciclo entero es igual a 12 meses. Para modelar esta serie de tiempo, se aplicó el Teorema de Fourier, el cual es una herramienta matemática para el análisis de funciones periódicas a través de la descomposición de la función en una suma de funciones sinusoidales más simples, es decir, como una combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras.

En la Figura 2 puede observarse el modelado matemático de los niveles máximos medios mensuales del UVI en función del tiempo en meses en el periodo 2006 - 2009. El modelo matemático resultante está representado por la línea continua y, tal como puede observarse, se ajusta bastante bien al comportamiento de la serie.

La ecuación resultante es:

$$UVI_t = 1.36 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12}t\right) + 3.67 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{12}t\right) + 0.25 \cdot \sin\left(\frac{4\pi}{12}t\right) + 7.89$$

Donde:

$UVI_t$  es el nivel máximo medio mensual del UVI para el periodo 2006-2009.

$t$  es el tiempo en meses (1 a 48) del periodo 2006-2009.

Esta expresión es la expansión en serie de Fourier de la función periódica  $UVI_t$ . La misma relaciona la variación del nivel máximo medio mensual del UVI a partir de cierto mes de la serie

comprendida entre 1 y 48 meses.

El coeficiente de determinación  $R^2$  del modelo es igual a 0.949. El error estándar es 0.647. El p-valor es  $2.2e-16$ . El modelo se ajusta muy bien al comportamiento de la serie, con una bondad de ajuste del 95%.

### CONCLUSIONES

Los niveles máximos medios mensuales del UVI se comportan como una serie temporal del tipo sinusoidal, con máximos en verano y mínimos en invierno. La media mensual anual para el verano es igual a 12 unidades (intensidad extremadamente alta), y la media mensual anual para el invierno es igual a 4 unidades (intensidad moderada). Se ha detectado una tendencia ligeramente decreciente en la serie.

La serie de los niveles máximos medios mensuales del UVI puede considerarse como una función periódica con periodo  $T = 12$  meses. Se encontró que esta serie puede ser modelada mediante la expansión en serie de Fourier.

Los niveles extremos de radiación UV son muy peligrosos especialmente para las personas de piel blanca, ya que la exposición prolongada a esta radiación, es capaz de producir eritemas y quemaduras severas, como también propiciar el desarrollo de cáncer de piel y cataratas oculares.

### AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Investigación de la Atmósfera y Problemas Ambientales (LIAPA) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción, por los datos suministrados.

### LITERATURA CITADA

- Amarilla, C. (2015). Modelización de la radiación ultravioleta tipo B total en la Ciudad de San Lorenzo - Paraguay. *Reportes Científicos de La FaCEN*, 6(2): 5–21.
- Corrêa, M. P. (2003). *Índice ultravioleta: Avaliações e aplicações* (Tesis de Doctorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Diaz, V. (2016). Caracterización de la irradiancia eritemica diaria basada en modelos de series temporales y determinación del Índice UV en el Departamento Central del Paraguay. *Reportes Científicos de La FaCEN*, 7(2): 32–38.
- World Health Organization, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme & International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. (2002). *Global solar UV index: a practical guide*. World Health Organization.

## GUÍA PARA LOS AUTORES

**Reportes Científicos de la FACEN**, es una revista de acceso libre y gratuito y es la publicación científica oficial de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Asunción. Es emitida semestralmente y publica **Artículos originales, Artículos de revisión, Tópicos actuales, Reportes de casos, Comunicaciones cortas y Correspondencia**, en las áreas de Biología, Química, Física, Matemática Pura, Matemática Estadística, Geología, Biotecnología y Tecnología de Producción. Los principales criterios para la selección de los artículos son la solidez científica y la originalidad del tema. Los trabajos y opiniones publicados en la revista son de exclusiva responsabilidad de los autores. El idioma oficial de la revista es el español, pero se aceptan trabajos en inglés y en portugués. No existe costo de publicación para los autores.

El trabajo será enviado en formato electrónico a la dirección email de la revista (reportescientificos@gmail.com), consistiendo en archivos de texto, archivos de planilla electrónica y archivos de imagen. **El archivo principal de texto debe contener únicamente texto, sin ilustraciones ni tablas embebidas**, sino únicamente las respectivas citas a las mismas en el texto (numeradas secuencialmente). **Las tablas e ilustraciones deberán ser remitidos en formato digital en archivos independientes**. Los respectivos archivos deberán indicar en su nombre a qué número de tabla o ilustración corresponden.

El archivo de texto debe ser producido con Microsoft Word® u otro editor de texto perfectamente compatible. El texto deberá estar en letra Times New Roman, tamaño 11. Todo trabajo llevará en su primera página los siguientes elementos: **a) el Título** en español e inglés, **b) la lista de Autores** con nombre y apellido, **c) la Afiliación** laboral de cada autor, **d) un Resumen** de un máximo de 250 palabras en español, **e) un máximo de 7 Palabras clave** en español, **f) un Abstract** en inglés, correspondiente a la versión en español y **g) un máximo de 7 Key words** en inglés, correspondientes a la versión en español. **En caso de trabajos en Portugués** se añaden Título, Resumen y Palavras chave en dicho idioma. El resumen sólo podrá obviarse en el caso de Editoriales, Comunicaciones cortas y Correspondencias presentadas como tales. El cuerpo principal del texto podrá contener, según el contexto del trabajo, las secciones de **1) Introducción, 2) Materiales y métodos (o sólo uno de ellos de acuerdo al caso), 3) Resultados, 4) Discusión, 5) Conclusión, 6) Agradecimientos y 7) Literatura citada**. Tales secciones podrán sufrir fusión o no existir, de acuerdo a la metodología de trabajo o enfoque dados por el autor, así como al tipo de escrito (Artículo original, Comunicación corta, etc.) como haya sido presentado por autor o como lo decida el comité editorial. **Los pies de figuras y tablas** deberán ir al final del texto, a continuación de la sección de literatura citada.

Las citas bibliográficas deberán seguir las normas APA. Según estas normas, el año va entre paréntesis y se destacan el autor y año en las citas en texto: “Según González (1999)” o “El método es reciente (González, 1999)”. Para la lista en la sección de Literatura citada la secuencia lógica y formato es de “Autor. (Año). Título. Publicador, Volumen(Número): Páginas.”, poniéndose siempre primero el apellido de cada autor, seguido de sus correspondientes iniciales y separados por comas, con el último autor separado por un signo de ampersand. Se aplicará cursivas respectivamente en el título si se trata de un libro o tesis, o en el publicador si se trata de un artículo. Se ilustra en los siguientes ejemplos:

González, A.P. (1999). *Métodos de análisis crítico*. Asunción: Editorial Nueva. 120 pp.

González, A.P., Martínez, G.T. & Robledo, H.A. (1999). Análisis de la producción científica del país. *Revista de Filosofía Científica*, 45(2): 56-61.

**Las tablas y cuadros deberán presentarse en archivos de Microsoft Excell®** u otro programa perfectamente compatible, aunque en muchos casos se aceptan también tablas embebidas en archivo de Microsoft Word®, siempre que sea en archivo separado del de texto. **Las ilustraciones (graficos, imágenes, fotos, dibujos, mapas, esquemas o láminas completas) deberán presentarse cada una en un archivo aparte**, en formato JPG o TIF, generados en Adobe Photoshop u otro programa de procesamiento de imágenes. Deberá cuidarse que posean buen enfoque, claridad y contraste, que tengan una resolución mínima de 300 dpi y máxima de 1000 dpi y teniendo en cuenta que su anchura máxima en la revista será de 16 cm.

El proceso de evaluación incluye una primera revisión por el Comité Editorial para determinar si el artículo corresponde a la línea editorial y si cumple con los criterios generales de publicación. Una vez que el artículo se considere pertinente, se someterá a por lo menos dos revisores especialistas en el tema, de cuya opinión depende la aceptación definitiva del artículo. Si existiera una contradicción en la opinión de ambos especialistas, se someterá al Comité editorial o en caso contrario se solicitará una tercera opinión de un tercer especialista. El dictamen podrá ser aceptado, rechazado o condicionado, que será comunicado por escrito al autor principal en un plazo no mayor de tres meses de la recepción del material original. Si el dictamen es condicionado, el autor deberá remitir la nueva versión impresa y en formato digital en el plazo que se le indique que no podrá exceder de los 30 días posteriores a la recepción de la comunicación.

# REPORTES CIENTÍFICOS

## D E L A F A C E N

### ÍNDICE DE CONTENIDOS

Rep. cient. FACEN	San Lorenzo (Paraguay)	Vol. 9, Nº 2	julio-diciembre de 2018	ISSN 2078-399X (versión impresa) ISSN 2222-145X (versión online)
-------------------	------------------------	--------------	-------------------------	---

- 111-123 **María Belén Barreto.** Micromamíferos no voladores (Rodentia y Didelphimorphia) en tres sitios con distintos grados de perturbación de la Reserva Natural del Bosque Mbaracayú. [Artículo Original].
- 124-131 **Julieta P. Sánchez M.** Características poblacionales de *Akodon montensis* en diferentes calidades de su hábitat, y características del microhábitat relacionadas a su presencia en el Bosque Atlántico Interior de Paraguay. [Artículo Original].
- 132-133 **Gabriela Huttemann & Esteban Lavilla.** Nuevos registros de anuros para la urbanización Surubi'i (departamento Central, Paraguay). [Comunicación Corta].
- 134-144 **José María Gómez & Carolina Kehrig.** Estudio multifrecuencia de la galaxia IZw18. [Artículo Original].
- 145-154 **Nilsa Concepcion Ortigoza Caceres.** Estudio del grado de contaminación por hierro en el acuífero Patiño en pozos profundos de la zona de Luque. [Artículo Original].
- 155-158 **Abel Delgado & Fernando Mendez.** Modelado matemático del índice ultravioleta en la ciudad de San Lorenzo, Paraguay. [Artículo Original].

