

Análisis estadístico-morfogenético de los morfoalineamientos en la llanura Varadero-Cárdenas. Matanzas, Cuba

Lyhen Sánchez-Suárez^(1*) y Mario Guerra Oliva⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 #2906 %29 y 31, La Coronela, La Lisa, La Habana, Cuba.
lyhen@iga.cu, mguerra@iga.cu

Recibido: enero 2017	Aceptado: julio 2017
----------------------	----------------------

Resumen

El análisis del comportamiento de los morfoalineamientos en la zona, se ejecutó mediante la cartografía de campo de 3 mapas geomorfológicos. Se obtuvo una base de datos de variables cualitativas, que son los Paleovalles lineales y areales, Manglar, Red fluvial, Pendientes de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 y 60-85 grados respectivamente. Se realizó la estadística descriptiva, con media ($\bar{X} = 10.50$), varianza ($S^2 = 96.06$), desviación estándar ($S = 9.80$) y un coeficiente de variación ($CV = 93.33$). Se calcularon los pesos informativos, se elaboró una ecuación morfogenética, un análisis de contingencia. Para el procesamiento de la información se emplearon los softwares estadísticos InfoStat 2012 y Comprapro. Los resultados obtenidos reflejan que las variables de mayor peso para explicar el comportamiento morfogenético de los morfoalineamientos son los Paleovalles lineales y areales y las formas de relieve que mayor cantidad de Morfoalineamientos presentan son los manglares y las pendientes de 0-15 grados.

Palabras clave: análisis estadístico, morfoalineamientos, morfogenéticos

Analysis statistical-morphogenetic of the highlight alignments in Varadero-Cardenas`s plain. Matanzas, Cuba

The analysis of the morphoalignment behavior in the area was carried out by means of the field cartography of 3 geomorphological maps. A database of qualitative variables was obtained, which are the linear and sandy Paleovalles, Mangrove, Fluvial Network, Slopes of 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 and 60-85 degrees respectively. Descriptive statistics were performed, with mean ($\bar{X} = 10.50$), variance ($S^2 = 96.06$), standard deviation ($S = 9.80$) and a coefficient of variation ($CV = 93.33$). The informative weights were calculated, a morphogenetic equation was elaborated, a contingency analysis. For the processing of information, the statistical software InfoStat 2012 and Comprapro were used. The results obtained show that the most important variables to explain the morphogenetic behavior of the morphoalignments are the linear Paleovalles and areales and that the relief forms that represent the greatest number of Morfoalignments are the mangroves and the slopes of 0-15 degrees.

Keywords: statistical analysis, morphoalignments, morphogenetic

1. Introducción

Las particularidades geomorfológicas de una región, contribuyen a la caracterización de la misma, lo que permite conocer su evolución posterior para determinar las condiciones futuras en el desarrollo ingenieril.

Actualmente estos cambios afectan a todos los países, produciendo, desastres naturales que atentan contra la vida de los seres humanos y su desarrollo; por esto se incrementan las investigaciones sobre cambios del relieve ya que en los últimos años han comenzado a sentirse sus efectos con mayor intensidad, por lo que resulta de vital importancia realizar estudios particulares para establecer medidas y tomar las decisiones adecuadas, para prever situaciones en caso de desastres naturales.

Los morfoalineamientos constituyen formas lineales del relieve que reflejan el grado e intensidad de la actividad tectónica y neotectónica y muestran las características morfotectónicas de una región (HERNÁNDEZ SANTANA, J. R., ORTIZ PEREZ, M. A. y MAHENG, M. F, 1983, ORTIZ, M. A., ZAMORANO, J. J y BONIFAZ, A.,1993). La interpretación de estos se puede realizar mediante hojas cartográficas, fotografías aéreas o satelitales, ya sea en el gabinete o en el campo, la intensidad del agrietamiento y su distribución espacial son indicadores importantes de la presencia de morfoalineamientos, los cuales son estudiados como una herramienta importante para la caracterización tectónica y neotectónica de un área y para prever desastres naturales (PAREDES, C. et all, 2006).

La región de estudio está ubicada dentro de la Mesoregión Habana-Matanzas (ACEVEDO GONZÁLES, M. J. 1986, la que ocupa casi la totalidad de la antigua provincia La Habana y de la provincia de Matanzas y en específico a la Subregión de las Alturas de Habana-Matanzas. Se extiende esta subregión por la costa Norte de la provincia de Matanzas, la cual está representada por costas estructuro-denudativas y acumulativas de manglar, presentando un relieve eminentemente cársico. (Figura 1)

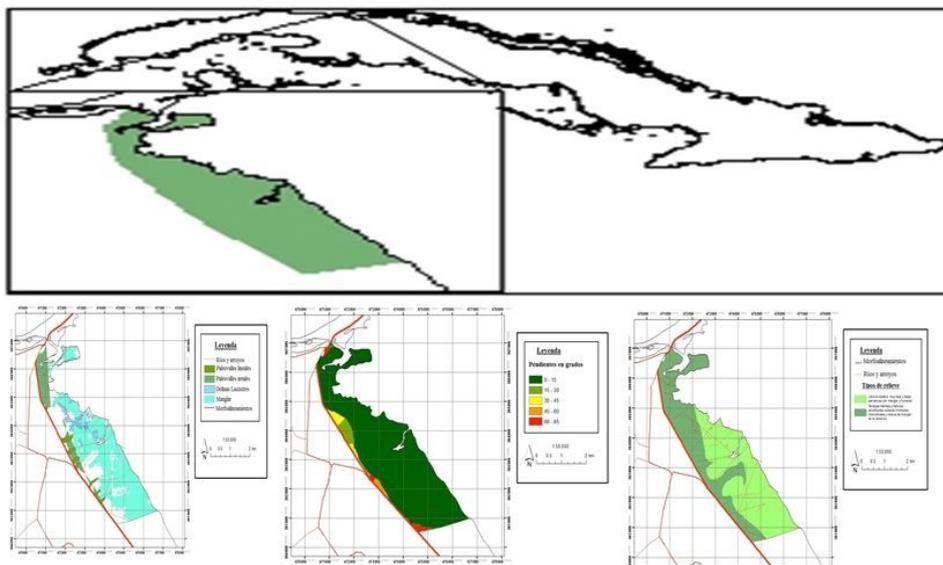


Fig. 1. Mapas de ubicación geográfica y descripción de la región de estudio

Actualmente existen diversos y numerosos estudios, en Cuba, donde se caracterice, de forma general, la evolución de las formas de relieve mediante el uso de herramientas estadísticas.

Es por ello que este trabajo pretende contribuir a tal análisis y tiene como objetivo estudiar el comportamiento de las variables geomorfológicas, mediante el uso de algunas herramientas estadísticas, en la llanura costera cársica de Varadero-Cárdenas.

2. Materiales y Métodos

Se ejecutó la cartografía de campo de 3 mapas geomorfológicos y se recopiló la información de las formas de relieve de la llanura Varadero-Cárdenas, en el año 2015.

Se recopiló la información de las formas de relieve considerando como variables geomorfológicas, a los Paleovalles lineales (PVL), Paleovalles areales (PVA), Manglar (MG), Red fluvial (RF), Pendientes de 0-15 grados (P 0-15), Pendientes de 15-30 grados (P 15-30), Pendientes de 30-45 grados (P 30-45), Pendientes de 45-60 grados (P 45-60), Pendientes de 60-85 grados (P 60-85) y las Dolinas Lacustres (DLIN). Con la información se construyó la base de datos por variable para el año considerado para el estudio.

Con esto se confecciona una base de datos y se calculó su geometría descriptiva, la media aritmética (\bar{X}), la desviación estándar (S^2) y el coeficiente de variación (CV) definido como el cociente entre la desviación estándar de la muestra y su media, ofrece una estimación de la proporción de variabilidad de la muestra expresada por unidades de media y no la variabilidad en sí de dicha muestra (BARÓN LÓPEZ, F.J.1999); este estadígrafo no puede ser definido en variables previamente estandarizadas y en variables con media próxima a cero, su valor tiende a elevarse.

Se determinó la cantidad de morfoalineamientos por formas de relieve y con esto el peso informativo de las variables por asociación con los alineamientos, mediante el cálculo de una matriz booleana, con esta información se elaboró una ecuación morfogenética para establecer el orden de importancia de las formas del relieve en la evolución morfogenética de la región.

Se realizó además un análisis de contingencia entre las Formas de relieve contra la cantidad de Morfoalineamientos a través de la dícima X^2 . En los casos en que obtuvo diferencias significativas ($P < 0.05$, $P < 0.01$ y $P < 0.001$), se aplicó el test de comparación múltiple de Duncan, prueba de rangos múltiples.

Se utilizó, para el procesamiento de la información, el sistema de hojas de cálculo Microsoft Excel 2008, el software estadístico InfoStat, (2012) para Windows y el Compapro, (2007).

3. Resultados y Discusión

En el gráfico presentado en la figura 2 se evidencia que la mayor cantidad de Morfoalineamientos, un total de 28, se encuentran sobre los manglares y continuamente sobre la pendiente de 0-15 grados, la otra cantidad con un total de 25. Esto se puede deberse a que la neotectónica modela ambas superficies indistintamente provocando ascensos y descensos prolongados de baja intensidad, lo que infiere la presencia de pequeños bloques neotectónicos, lo que se deduce de la densidad de estos, puede dividirse la zona en tres bloques principales ubicados en el extremo noroeste, en el centro del área y hacia el sureste.

Se pueden enumerar trabajos en los que se hacen análisis similares a este y los resultados son similares, en tal sentido se encuentra la realización de un estudio de Mapa Neotectónicos de Cuba y la regionalización de Cuba occidental (ACEVEDO GONZÁLES, M. J.,1986), CABRERA, M, 2011) que plantean que la diferenciación neotectónica del occidente de Cuba esta influenciada por los Morfoalineamientos Neotectónicos en el modelado del relieve actual de la isla.

Las pendientes de 15-30 y 60-85 grados, respectivamente, no presentan Morfoalineamientos significativos expresados cartográficamente, esto puede deberse a que las manifestaciones del relieve regional en estas pendientes no permitieron reconocer elementos de este tipo, visibles en el campo. O asociadas a formas significativas del relieve

El modelado actual, no lineal se debe más a la presencia en la acción de procesos erosivos-cársicos. Esto es un indicativo de los complejos mecanismos que actúan sobre un relieve carbonatado, donde se mezclan los procesos exógenos y los endógenos, de acuerdo a las particularidades estructurales de cada localidad (ACEVEDO GONZÁLES, M. J. ,1986, SAGRIPANTI, G.L. y VILLALBA, D. 2009).

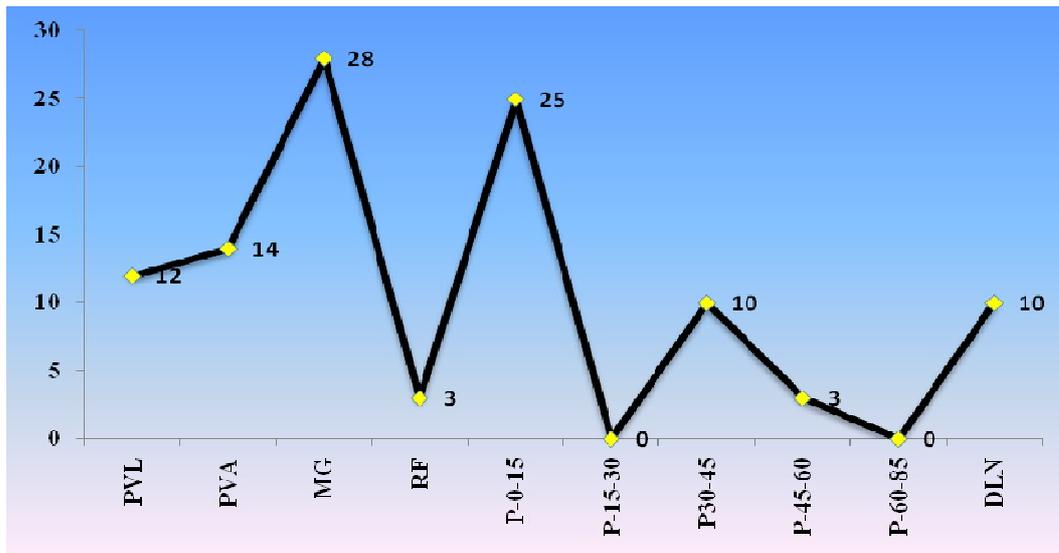


Fig. 2. Distribución de Morfoalineamientos según las formas del relieve

La estadística descriptiva para las formas de relieve estudiadas se indica en la tabla 1, se evidencia que estas presentan una media de 10.50 del total de cantidad de formas de relieve analizadas, tuvieron además una varianza de 96.06, una desviación estándar de 9.80 y una variabilidad, considerada alta (RAMIRO VÁSQUEZ, E. y CABALLERO, A., 2011), con un valor de 93.34%, esto puede deberse a la alta heterogeneidad litológica y en la formación de alineaciones tectónicas que se muestran por diversas formas del relieve y al desarrollo tridimensional y progresivo del curso. Estos resultados coinciden con investigaciones realizadas (ACEVEDO, M., 1971); GUERRA, M. G. 2002, MOLERO, L. et al, 2004), donde se estudian, los cambios geomorfológicos y las características geomorfológicas y ambientales en Cuba.

Tabla I: Estadística descriptiva general de las formas de relieve analizadas

Formas de relieve	Estadísticos			
	Posición	Dispersión		
	Media (\bar{X})	Varianza (S^2)	DE (S)	CV (CV)
	10.50	96.06	9.80	93.33

En la figura 3 se evidencia que los Paleovalles lineales y areales presentan mayor peso por asociación con los Morfoalineamientos, lo que indica una alta incidencia de los alineamientos en la formación de estos paleocauces (DÍAZ, J. L., REYES, R., Hernández, J. R. 2001).

Los Paleovalles lineales y areales no solo están asociados con morfoalineamientos que permitieron la formación de estos sino que también están localizados sobre zonas altamente agrietadas, que directa o indirectamente influyen en la dirección de estos paleovalles y en su morfología.

De la misma forma el manglar está asentado sobre una zona agrietada con abundante presencia de Morfoalineamientos, es decir que esta forma del relieve está de alguna forma controlada por la presencia de estos elementos neotectónicos, que actúan como formadoras de estos relieves.

Esto muestra la alta heterogeneidad de las rocas carbonatadas y la acción de sus procesos erosivos tectónicos para el modelado actual del relieve cársico donde se mezclan oscilaciones neotectónicas con procesos de denudación cársica.

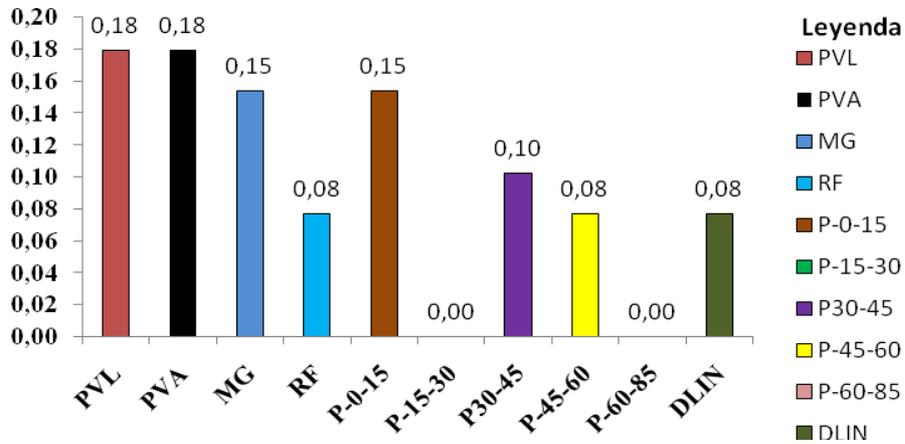


Fig.3. Distribución de los pesos informativos de las variables por asociación con Morfoalineamientos

Con los pesos informativos de las variables por asociación con lo Morfoalineamientos se elaboró la ecuación geomorfológica:

$$E_{mg} = f(0.18)(0.15)(0.10, 0.08)(0.00)$$

La misma brinda el orden de importancia morfogenética de cada forma del relieve (GUERRA, M. G. 2002) y evidencia la determinación de grupos de formas del relieve, que constituyen subetapas en el proceso morfogenético de la región.

El grupo 1 está conformado por los Paleovalles lineales y areales, lo que evidencia una sub-etapa de formación de los mismos, que refleja la poca importancia que tiene el escurrimiento superficial en relieves cársicos.

En la formación del grupo 2 juegan un papel fundamental los Manglares, las Pendientes 0-15 grados y Red fluvial; esto muestra la relación existente entre el Manglar y estas Pendientes y la escasa Red Fluvial actual.

Y los grupos 3 y 4 conformados por las Pendientes de 30-45 y 45-60 grados y las Pendientes de 15-30 y 60-85 grados sucesivamente, representan dos subetapas fuertemente relacionadas con la formación del relieve ondulado más alto, está relacionado con procesos exógenos cársicos denudativos.

El análisis reflejado en la tabla 2 evidencia que sobre las formas del relieve influye la cantidad de Morfoalineamientos existentes; y en este caso de estudio las que presentan relación con una mayor cantidad de Morfoalineamientos son los manglares, presentando estos un comportamiento similar a las pendientes de 0-15 grados; del mismo modo tienen comportamiento semejante las pendientes de 15-30 y de 60-85 grados sucesivamente, que no presentan Morfoalineamientos.

Tabla II. Distribución de Morfoalineamientos según las formas de relieve estudiadas

Cantidad de Morfoalineamientos en diferentes formas de relieve	No.	%	EE y Signif.
Paleovalles lineales	12	11.43 ^{bc}	±2.9277 ***
Paleovalles areales	14	13.33 ^b	
Manglar	28	26.67 ^a	
Red Fluvial	3	2.86 ^{cd}	

Pendiente de 0-15 grados	25	23.81 ^a
Pendiente de 15-30 grados	0	0.00 ^d
Pendiente de 30-45 grados	10	9.52 ^b
Pendiente de 45-60 grados	3	2.86 ^{cd}
Pendiente de 60-85 grados	0	0.00 ^d
Dolinas lacustres inundadas	10	9.52 ^{bc}
Total	105	100

Aun cuando los manglares no son las formas que evidencian mayor peso por asociación con los Morfoalineamientos, presentan mayor cantidad de los mismos, debido a que estos son formas del relieve originados por las variaciones del nivel del mar durante el cuaternario y a la existencia y variaciones en la actividad de formación de bloques neotectónicos con tendencia a la subsidencia (HERNÁNDEZ ORDAZ, A., et al. 2011).

Conclusiones

Se obtuvieron los pesos informativos de cada forma de relieve, lo que brinda la posibilidad de confeccionar un modelo de evolución geomorfológica a partir de las variables analizadas.

Se determinó que, en este caso, las formas de relieve que más inciden en el comportamiento de los morfoalineamientos son los manglares y las pendientes de 0-15 grados.

Se demuestra que con la aplicación de métodos estadísticos, se logran realizar análisis más profundos y caracterizaciones numéricas más exhaustivas, de la evolución geomorfológica de un área.

Recomendaciones

Se recomienda extender este análisis a regiones más amplias y con mayor número de variables y emplear los métodos estadísticos a otros análisis relacionados con el medio ambiente e ingenieriles, pues con esto se posibilita la mejor comprensión de la problemática en estudio.

Referencias

- Acevedo Gonzáles, M. J. 1986. Influencia del cuaternario en el desarrollo del relieve de Cuba occidental su regionalización. **Tesis para la obtención del grado científico de candidato a doctor en ciencias geográficas.** Ministerio de Educación Superior, Instituto Superior Pedagógico Enrique José Varona, Facultad Geografía. pp: 123
- Acevedo, M. 1971. **Geomorfología de Sumidero y sus inmediaciones.** *Revista Tecnológica.* núm. 3, vol. 4, pp. 33-54.
- Barón López, F.J.; 1999. **Bioestadística: Métodos y Aplicaciones U.D.** (Bioestadística. Facultad de Medicina. Universidad de Málaga. ISBN: 847496-653-1
- Cabrera, M. 2011. "**Mapa Neotectónico de Cuba a escala 1:250.**" Memorias de IX Congreso cubano de Geología, La Habana, Cuba. 4-8 abril (Geología 2011).
- Casa, A. L., J. M. Cortés y M. M. Borgia 2010. "**Evidencias de deformación pleistocena en el sistema de falla La Carrera (32°40'–33°15'ls), Cordillera Frontal de Mendoza**", *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 67, núm. 1, pp. 91–104.
- Díaz, J. L., Reyes, R., Hernández, J. R. 2001. "**El análisis Geomórfico-Ambiental en territorios montañosos.**" *Revista Minería y Geología*, núm. 69, pp.94-98. ISSN 1131-9100
- Guerra, M. G. (2002) "**Atributos e Indicadores Geomorfológicos Ambientales en los diferentes sistemas morfodinámicos ambientales cubanos.**" Fórum XIV de Ciencia y Técnica Instituto de Geofísica y Astronomía 2002. Libro de Resúmenes
- Hernández Santana, J. R., Ortiz Perez, M. A. y Maheng, M. F.(1983) "**Análisis morfoestructural del estado de Oaxaca, México: un enfoque de clasificación tipológica del relieve.**" *Investigaciones Geográficas* [online]. 2009, n.68 [citado 2015-06-16], pp. 7-24. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000100002&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0188-4611.

- Hernández Ordaz, A., Hernández Santana, J. R., Cofiño Arada, C. E., Méndez Linares, A. P., Galaz Escanilla, G. 2011. **Análisis estructural y morfotectónico en los municipios San Cristóbal y Candelaria, Cuba Occidental: contribución a los estudios de peligrosidad sísmica de la Falla Pinar**” Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. ISSN. 0188-4611
- Molerio, L., E. Balado, P. J. Astraín, C. Aldana, R. Fernández, R. Gutiérrez, E. Jáimez, J.R. Fagundo, J.B. González, R. Lavandero, J. Martínez, M. Mahe, L.F. De Armas, J.L. Clinche, J. Pajón, E. Dalmau, T. Crespo, A. Graña, E. Vento, M.G. Guerra, A. Romero, M.C. Martínez, A. Martínez. 2004. **El Mundo Subterráneo**. Universidad para Todos, Suplemento especial, Edición: N. Rodríguez, Editorial Academia, pp.32 (El Mundo Subterráneo.pdf)
- Ortiz, M. A., J. J. Zamorano, O. y Bonifaz, A. 1993. **Reconocimiento morfotectónico de una falla reciente de tipo transcurrente en Colina, México**. *Geofísica Internacional*, núm. 4, Vol. 32, pp. 569-574. Instituto Geográfico, UNAM, México, D. F
- Paredes, C. , Pérez López, R., Giner Robles, J. L., De la Vega, R., García García, A., Gumiel, P., 2006. **Distribución espacial y zonificación tectónica de los morfolineamientos en la Isla Decepción (Shetland del Sur, Antártida)**. *Geogaceta*, 39, pp. 75-78. ISSN: 0213683X
- Powers DA, Xie Y. 2000. **Statistical Methods for Categorical Data Analysis**. San Diego: AcademicPress.
- RamiroVásquez, E. y Caballero, A. (2011) **”Inconsistencia del Coeficiente de Variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de Análisis de Varianza.”***Revista de cultivos Tropicales*. vol.32, núm. 3, pp. 42-45. ISSN 0258-5936.
- Sagripanti, G.L. y Villalba, D. 2009. **Paleosismicidad y estimación del intervalo de recurrencia de fuertes terremotos asociados a fallas de intraplaca a la latitud 33°s, falla Las Lagunas, Sampacho, Córdoba**. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. [online]. 2009, vol.65, núm. 3 [citado 2015-06-23], pp. 417-428. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222009000700001&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1851-8249.

Acerca de los autores:

Lyhen Sánchez Suárez: Licenciada en Contabilidad y Finanzas y máster en Bioestadística, graduada en la facultad de Matemática de la UH. Trabajó en varios centros de investigación, siempre como investigadora en estadístico-matemática. Durante su trayectoria laboral participó en varios proyectos de investigación, en eventos nacionales e internacionales presentando trabajos variados, pero todos con enfoque estadístico. Brindó servicios en diferentes organismos y empresas. Obtuvo premios relevantes y destacados municipal y provincial en Fórum de Ciencia y Técnica. En el 2014 comienza a trabajar en el IGA ocupa cargo de jefe del departamento de Geofísica Espacial, tiene categoría de investigador e instructor; resultó trabajador anual destacado en el 2017. Colaboradora en India y Argentina.

Mario Guerra Oliva: Técnico superior en medio ambiente desde 1974, especialista en geomorfología aplicada a las investigaciones hidráulicas, participa en todas las investigaciones hidrogeológicas realizadas en el Instituto de Geofísica y Astronomía, donde labora como especialista en geomorfología ambiental, carsica e hidrogeología. Participa en todos los proyectos relacionados con la temática, y como profesor de geomorfología carsica. Paso un curso sobre hidrología Isotópica en Chile. En la actualidad participa en el proyecto *“Peligros del carso ante el cambio climático en la provincia de Cienfuegos”* .En la actualidad participa en servicios con la Empresa Gamma SA.