

4.2 Relación entre las magnitudes determinadas por la Red Nicaragüense y las de las Agencias Internacionales

Leonardo Álvarez (Dirección de Sismología)

Introducción

Para estudiar la relación entre las magnitudes que determina la red de estaciones de Nicaragua y las que determinan las Agencias Internacionales, se utilizó un nuevo catálogo (que está en proceso de revisión) para Nicaragua y sus alrededores, el cual contiene para cada terremoto, hasta 12 magnitudes diferentes determinadas por la Red Nicaragüense y diversas Redes Internacionales.

El proceso fue de una combinación de programas en FORTRAN para seleccionar magnitudes y reordenar sus posiciones en el catálogo, y guiones (scripts) en postgresql para seleccionar las combinaciones (m_i, m_j) a analizar. Se estudiaron las 3 magnitudes que se determinan en la red de estaciones: ML, MC (a veces llamada MD) y MW. Las comparaciones se hicieron con las magnitudes MB y MS del ISC y el NEIS, así como con la MW del catálogo del GEM y de los boletines de las agencias HRVD, ISC, NEIS y CGMT. Para la MB y la MS, también se analizó el caso de NEIS e ISC combinadas (cuando existían ambas se tomaba la media), mientras que en el caso de la MW se hizo lo mismo con todas (cuando existían varias se tomaba la media).

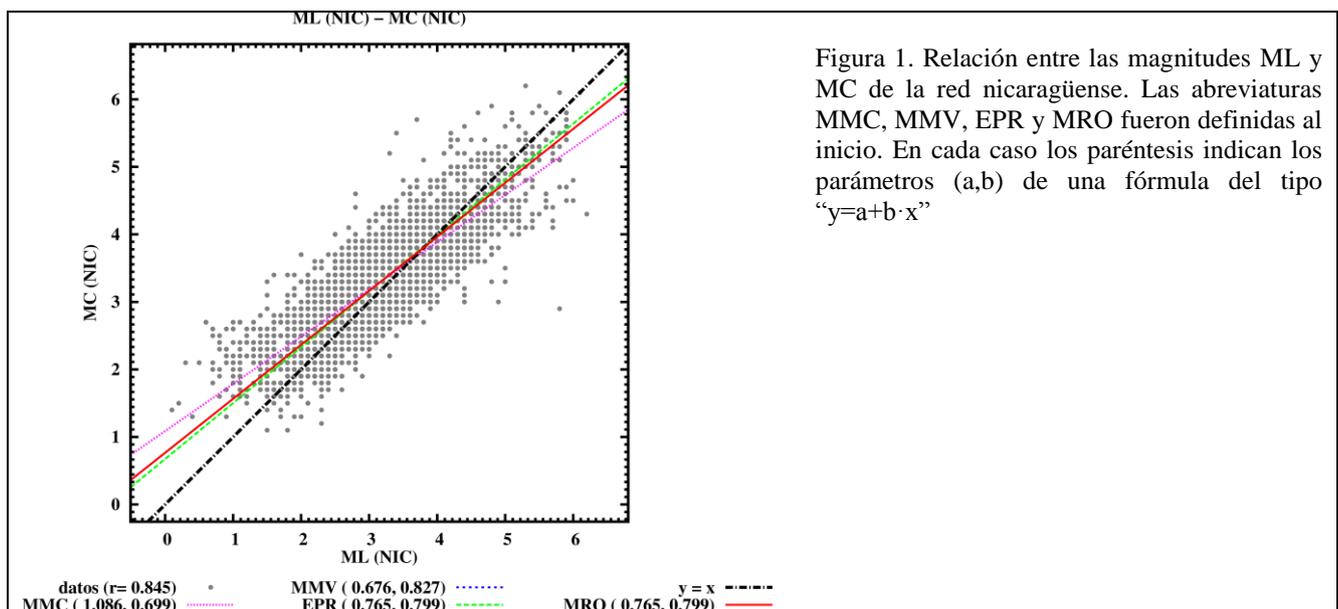
Para establecer las relaciones se realizó un análisis de regresión usando varios métodos: mínimos cuadrados (MMC), máxima verosimilitud (MMV), eje principal reducido (EPR) y regresión ortogonal (MRO). Se analizó una relación del tipo $y=a+b \cdot x$. Con todos los métodos se determinaron **a** y **b**, y para los 3 primeros se estimaron las dispersiones estándar de esos coeficientes σ_a y σ_b . En el caso de la regresión ortogonal, solo se determinaron los intervalos de confianza para la predicción de “y”. Además fue estimado el coeficiente de correlación “r”.

Comparación entre las magnitudes determinadas por la red nicaragüense

Aunque el catálogo incluye datos desde 1975, se centrará este análisis en el período comprendido desde 1992 hasta la fecha en que se instaló la nueva red de estaciones sismológicas, y aunque ha habido un incremento paulatino del número de estaciones, se ha mantenido un mismo estilo de trabajo y una uniformidad en el procesamiento de los sismogramas. Se buscan regresiones lineales del tipo $M2=a+b \cdot M1$

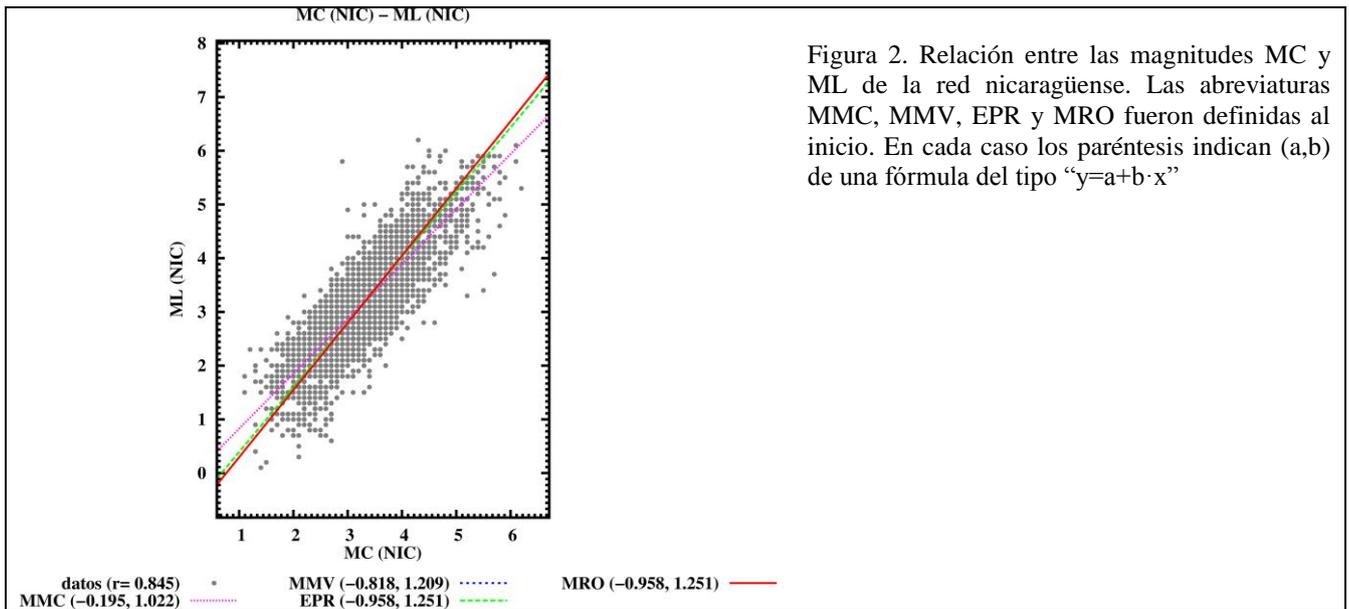
a) Caso (ML,MC)

Se analizó una muestra de 6396 eventos. El resultado del análisis se muestra en la fig.1. Nótese que el coeficiente de correlación es elevado, por lo que es bastante confiable el resultado obtenido. Prácticamente son iguales los resultados de máxima verosimilitud, eje principal reducido y regresión ortogonal. En el gráfico se muestra también la recta $y=x$, que nos indica como son relativamente los dos valores de magnitud. Para $(ML,MC)<3.3$ los valores de MC superan a los de ML, mientras que para $(ML,MC)>4.3$ los valores de ML superan a los de MC.

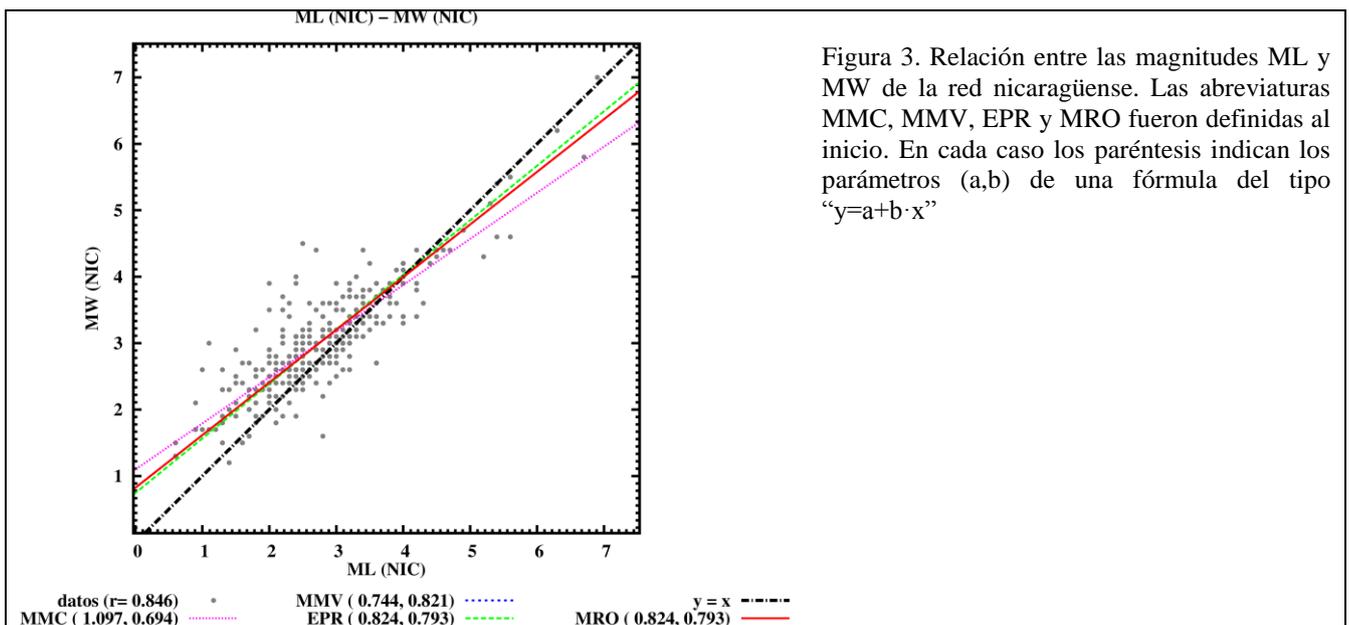


b) Caso inverso (MC,ML)

Para la misma muestra se intercambiaron las posiciones, ahora en el eje X está la MC y en el Y la ML. El resultado se muestra en la fig.2.

**c) Caso (ML,MW)**

La muestra ahora es de 318 puntos. El resultado del análisis se muestra en la fig. 3.



En este caso se tiene igualmente un valor elevado del coeficiente de correlación y prácticamente son iguales también los resultados de máxima verosimilitud, eje principal reducido y regresión ortogonal. El comportamiento relativo de las magnitudes reflejado por la posición de la recta $y=x$ es similar al del caso anterior, lo que el cambio de comportamiento es alrededor del valor $(ML,MW)=3.5$.

d) Caso (MC,MW)

Se pudo obtener una muestra de solo 12 puntos, y como es de esperar en esos casos fue imposible estimar una recta de regresión, debido al coeficiente de correlación excesivamente bajo (0.282) de los datos.

e) Conversión de las magnitudes de la red nicaragüense entre si

En los últimos tiempos hay una tendencia en sismología a usar cada vez más la magnitud MW como medida estándar de la energía liberada por los terremotos, por lo que es necesario convertir los otros tipos de magnitud a MW usando relaciones como las aquí presentadas. Esto en estadística se conoce como predicción y el tipo de ajuste entre variables que

se use dependerá del objetivo. Lo que se desea es calcular la magnitud MW que corresponde a una magnitud ML o MC. Las rectas obtenidas por los diferentes métodos son muy cercanas en los casos analizados, por lo que se selecciona para conversión la obtenida por el método de los mínimos cuadrados, ya que el método permite hacer un análisis de la confiabilidad de la predicción. Se presentan gráficos que indican la recta de regresión (la predicción), junto con curvas que reflejan los intervalos de confianza para la predicción de una sola "y" y de la media de las posibles "y" para un 95% de probabilidad. En la fig. 4 se presenta el caso de conversión de ML a MW. Nótese que en el caso de una conversión simple el error posible es de ± 0.8 , mientras que para la media es del orden de ± 0.1 . Es por ello que no se recomienda usar esta relación para terremotos aislados.

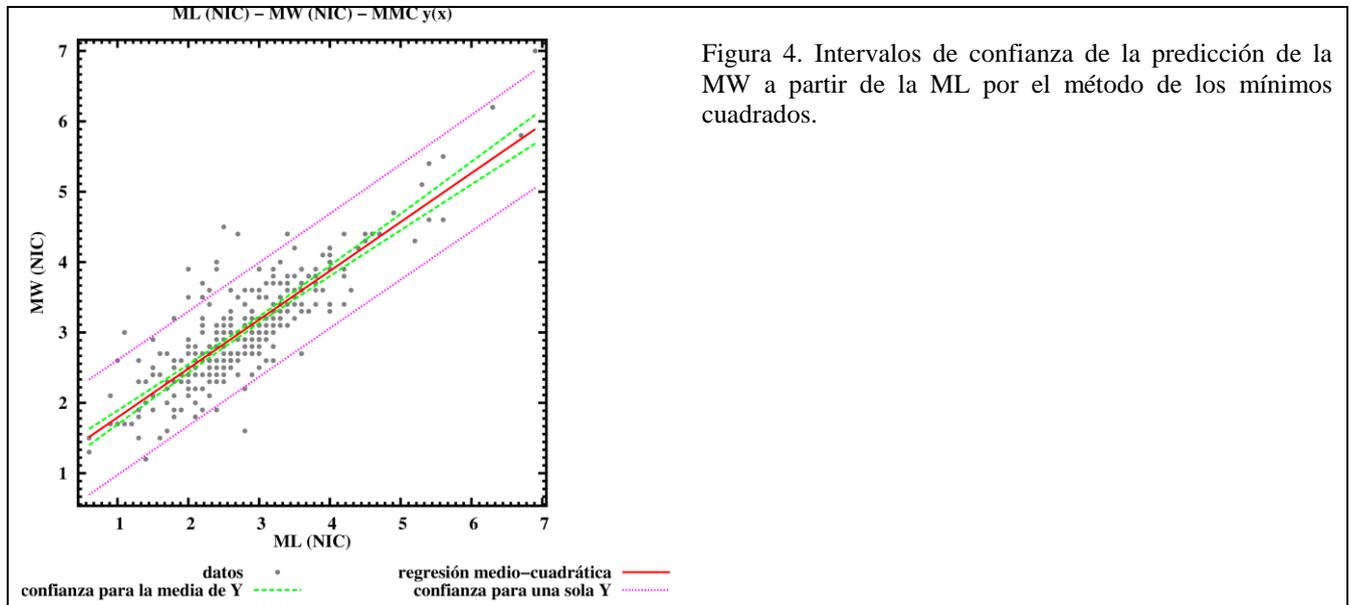


Figura 4. Intervalos de confianza de la predicción de la MW a partir de la ML por el método de los mínimos cuadrados.

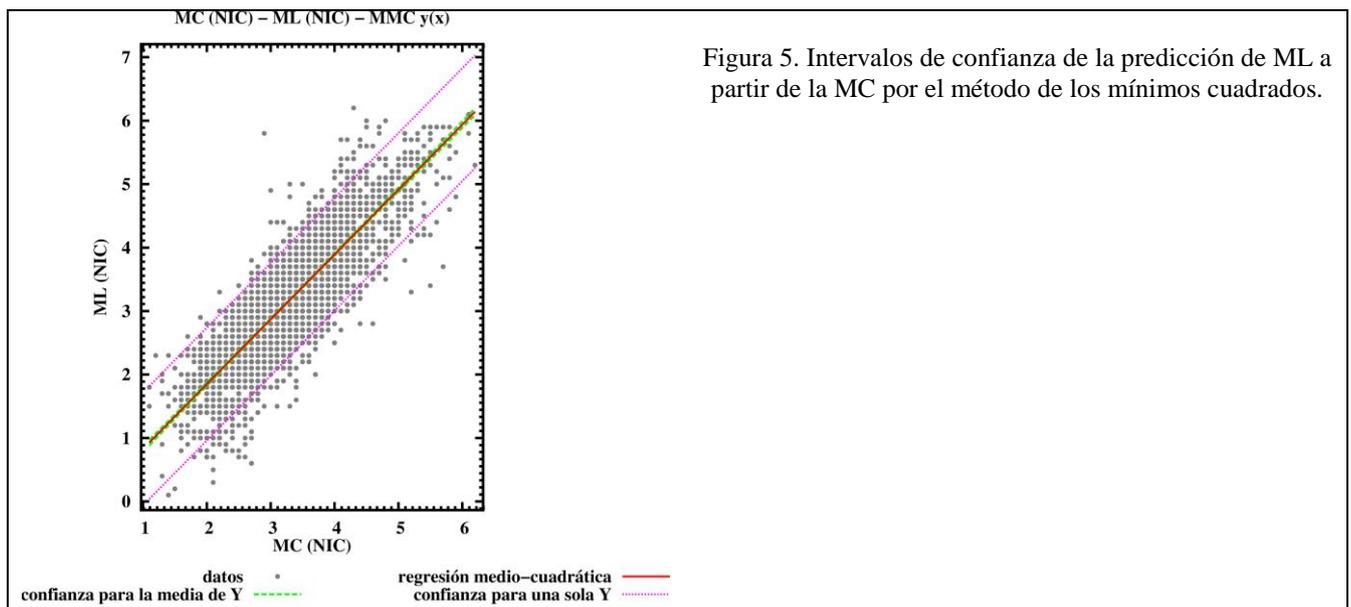


Figura 5. Intervalos de confianza de la predicción de ML a partir de la MC por el método de los mínimos cuadrados.

El caso de la conversión MC-MW es más complejo, ya que no se pudo obtener una regresión directa. En este caso es necesario convertir MC en MB inicialmente y luego convertir el valor de ML obtenido en MW. Los intervalos de confianza para la conversión MC \rightarrow ML se presentan en la fig. 5. La precisión en este proceso es mucho más baja. En el caso de una conversión simple MC \rightarrow ML el error posible es de ± 0.9 y para la media es de ± 0.1 . Si a esto se suma la transformación sucesiva ML \rightarrow MW, el error se incrementa grandemente, por lo que no es aconsejable realizar este proceso excepto si no trabaja en términos de la media.

Relación de las magnitudes de la red nicaragüense con las MB y MS de agencias internacionales

Se compararon las magnitudes determinadas por la red con magnitudes MB y MS determinadas por las agencias internacionales NEIS e ISC. Como NEIS hemos considerado las determinaciones realizadas, con diferentes denominaciones, por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, mientras que el ISC corresponde al "International Seismological Centre" radicado en Gran Bretaña.

a) Relación de ML de la red con MB y MS del NEIS y el ISC

Se hicieron diversas pruebas con determinaciones individuales y promediadas (de MB y MS) entre ambas agencias internacionales, y en ningún caso se pudo obtener una relación aceptable; siempre el coeficiente de correlación fue inferior a 0.7. En la tabla 1 se resumen esos resultados.

Tabla 1. Resultados del análisis de la relación de la ML con las MB y MS del NEIS y el ISC

Magnitud	Agencia	Coefficiente de correlación	Número de puntos
MB	NEIS	0.445	1272
MB	ISC	0.624	1756
MB	NEIS,ISC	0.596	2122
MS	NEIS	0.613	56
MS	ISC	0.630	495
MS	NEIS,ISC	0.653	513

La relación menos mala es la de ML vs. MS (NEIS,ISC). En la fig. 6 se presenta el gráfico correspondiente.

b) Relación de MC de la red con MB y MS del NEIS y el ISC

Se hicieron diversas pruebas con determinaciones individuales y promediadas (de MB y MS) entre ambas agencias internacionales, y en ningún caso se pudo obtener una relación aceptable; siempre el coeficiente de correlación fue inferior a 0.7. En la tabla 2 se resumen esos resultados.

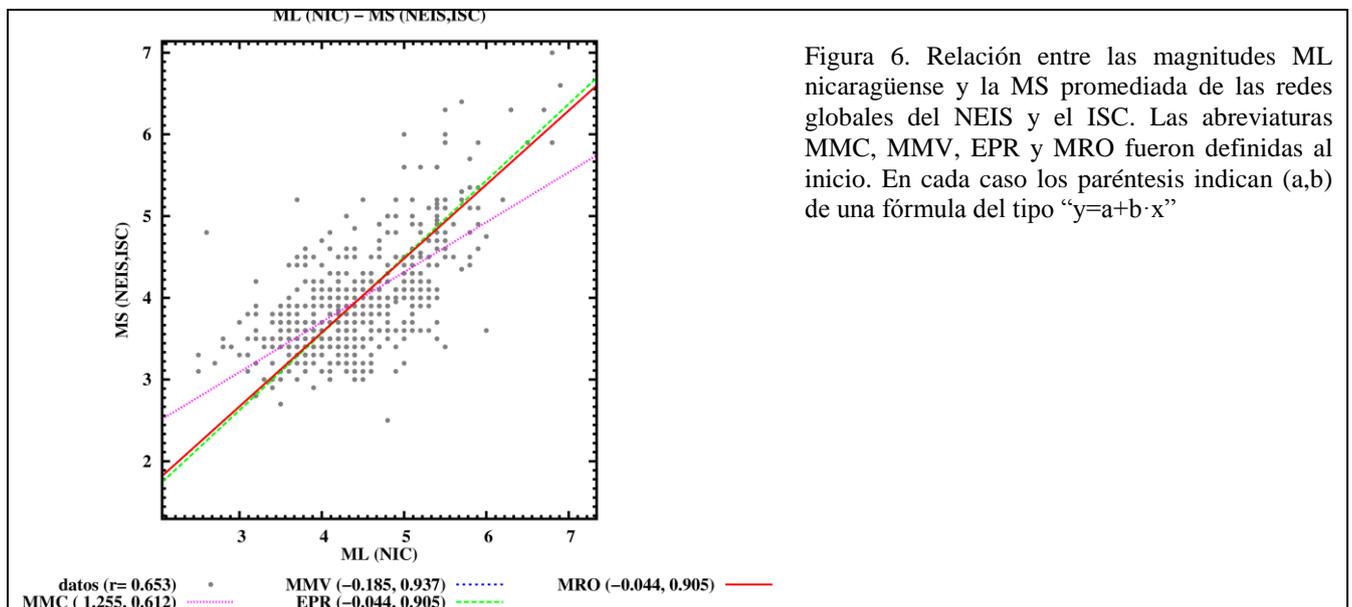


Figura 6. Relación entre las magnitudes ML nicaragüense y la MS promediada de las redes globales del NEIS y el ISC. Las abreviaturas MMC, MMV, EPR y MRO fueron definidas al inicio. En cada caso los paréntesis indican (a,b) de una fórmula del tipo “ $y=a+b \cdot x$ ”

Tabla 2. Resultados del análisis de la relación de la ML con las MB y MS del NEIS y el ISC

Magnitud	Agencia	Coefficiente de correlación	Número de puntos
MB	NEIS	0.245	888
MB	ISC	0.477	1663
MB	NEIS,ISC	0.462	1763
MS	NEIS	0.219	53
MS	ISC	0.446	349
MS	NEIS,ISC	0.460	367

Relación entre las magnitudes de la red nicaragüense con las MW obtenidas por diferentes agencias

En el catálogo de terremotos mencionado existen datos de magnitudes MW determinados por diferentes agencias. En la búsqueda realizada se encontraron coincidencias en determinación de magnitudes por la red nicaragüense y 5 agencias internacionales: GEM, HRV, ISC, NEIS y GCMT, las cuales fueron estudiadas. La abreviatura GEM corresponde a “Global Earthquake Model”, proyecto internacional que publicó un catálogo con relocalizaciones de epicentros de terremotos fuertes y re-determinaciones de magnitud MW.

La clave HRV corresponde a las determinaciones de MW realizadas en el proyecto CMT de la Universidad de Harvard, EE.UU., de determinación de tensores de momento, y la clave GCMT es del proyecto del Servicio Geológico de los EE.UU. De determinación de tensores de momento. En algunos casos el número de puntos para análisis de regresión era muy pequeño y se decidió no tomarlos en consideración cuando el número de pares (M1,M2) fuera inferior a 50. Además se determinó la media entre las MW de las agencias presentes, el cual fue objeto también del análisis. Veamos los diferentes casos:

a) Relación entre ML de la red y las MW de agencias internacionales.

Se analizaron todos los casos. En la tabla 3 se presentan los resultados del análisis.

Tabla 3. Relación entre ML nicaragüense y MW de las agencias internacionales

Agencia	Coefficiente de correlación	Número de puntos
GEM	0.535	53
HRVD	0.577	85
ISC	0.639	118
NEIS	0.800	61
GCMT	0.651	81
media	0.691	210

Como se ve de la tabla, la mejor correspondencia se da con las estimaciones de MW por el NEIS, seguido por la de la media de todas las MW. En la fig.7 se presenta el gráfico correspondiente a la última.

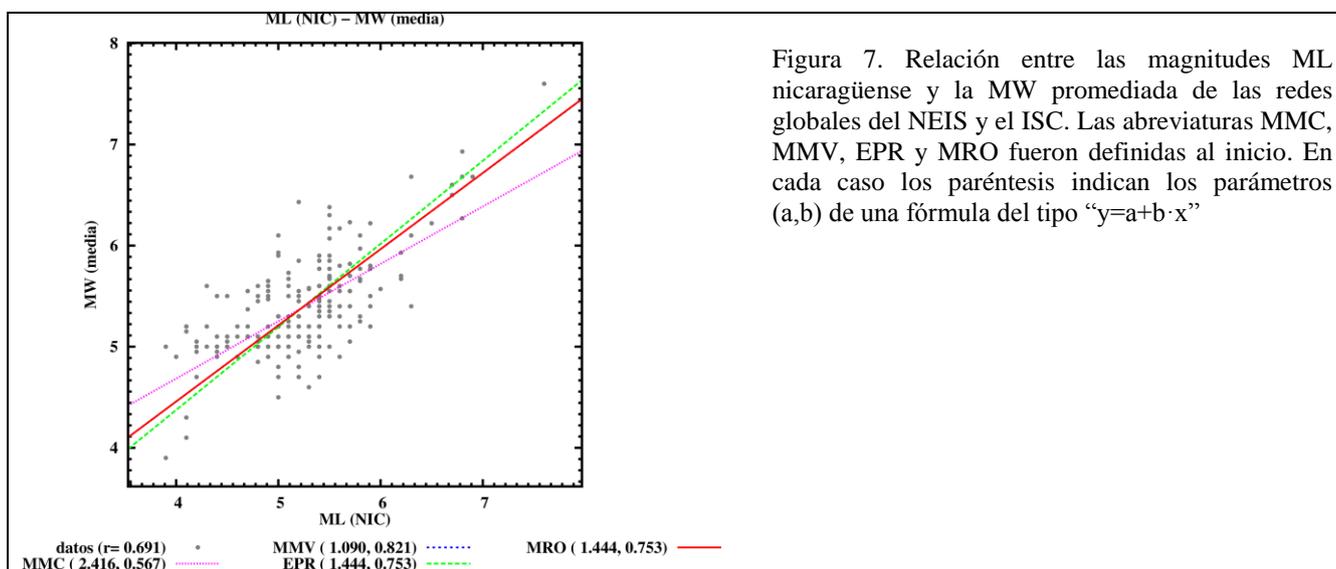


Figura 7. Relación entre las magnitudes ML nicaragüense y la MW promediada de las redes globales del NEIS y el ISC. Las abreviaturas MMC, MMV, EPR y MRO fueron definidas al inicio. En cada caso los paréntesis indican los parámetros (a,b) de una fórmula del tipo “ $y=a+b \cdot x$ ”

b) Relación entre MC de la red y las MW de agencias internacionales.

Se analizaron solo 3 casos, ya que para los otros 3 no existían datos suficientes. En la tabla 4 se presentan los resultados del análisis. Como se ve de la tabla, para esta magnitud no se puede obtener una relación confiable con la MW determinada por las agencias internacionales.

Tabla 4. Relación entre MC nicaragüense y MW de las agencias internacionales

Agencia	Coefficiente de correlación	Número de puntos
HRVD	0.272	48
ISC	0.379	52
media	0.447	71

c) Relación entre MW de la red y las MW de agencias internacionales.

Con mucho, esta es la relación más importante estudiada. La práctica internacional se mueve cada vez más hacia el uso de la MW, que es más estable y tiene un amplio espectro de validez; no es como las ML, MC, MB y MS cuya validez está limitada a rangos estrechos de frecuencia de los equipos cuyos registros se usen para determinarlas. En Nicaragua no estamos ajenos a esta tendencia, y en la actualidad a la mayoría de los eventos que se analizan en la red se les determina MW. Sin embargo, la cantidad de eventos con determinaciones simultáneas de MW de la red y de agencias

internacionales es muy baja y las muestras seleccionadas no permiten hacer un análisis de regresión robusto. El máximo número de puntos (38) se obtuvo para el caso de MW promedio, y aunque el coeficiente de correlación obtenido resulta aceptable, la regresión no se puede considerar muy confiable dado lo reducido de la muestra. En la fig. 8 se muestran estos resultados.

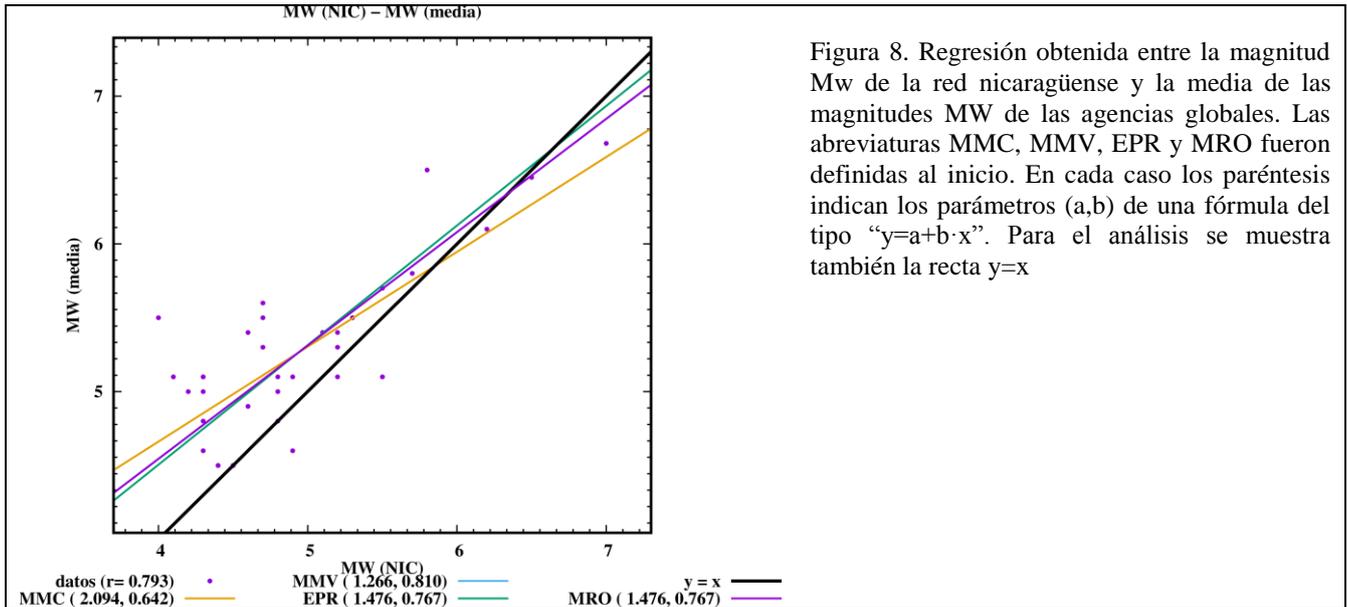


Figura 8. Regresión obtenida entre la magnitud Mw de la red nicaragüense y la media de las magnitudes Mw de las agencias globales. Las abreviaturas MMC, MMV, EPR y MRO fueron definidas al inicio. En cada caso los paréntesis indican los parámetros (a,b) de una fórmula del tipo “ $y=a+b \cdot x$ ”. Para el análisis se muestra también la recta $y=x$

Si vemos la posición relativa de los puntos respecto a la recta $y=x$, concluimos que hasta mayo de 2016, la red nicaragüense realiza estimados de magnitud MW inferiores a los de las agencias globales para magnitudes menores que 6, alrededor de ese valor son equivalentes, mientras que para valores mas grandes la magnitud de la red es superior a la de las agencias globales.

Conversión de las magnitudes de la red nicaragüense a magnitudes de las agencias globales

Este tipo de conversión en ningún caso tiene una alta confiabilidad, ya que de las relaciones halladas ninguna corresponde a una muestra con un coeficiente de correlación superior a 0.8. En este caso, no se tomará la estimación por mínimos cuadrados sino la correspondiente al método de regresión ortogonal. En las figuras 9-11 se presentan los intervalos de confianza para los 4 casos que se consideran “menos malos”: ML vs. MS(NEIS,ISC), ML vs. MW(media), MW vs. MW(NEIS) y MW vs. MW(media).

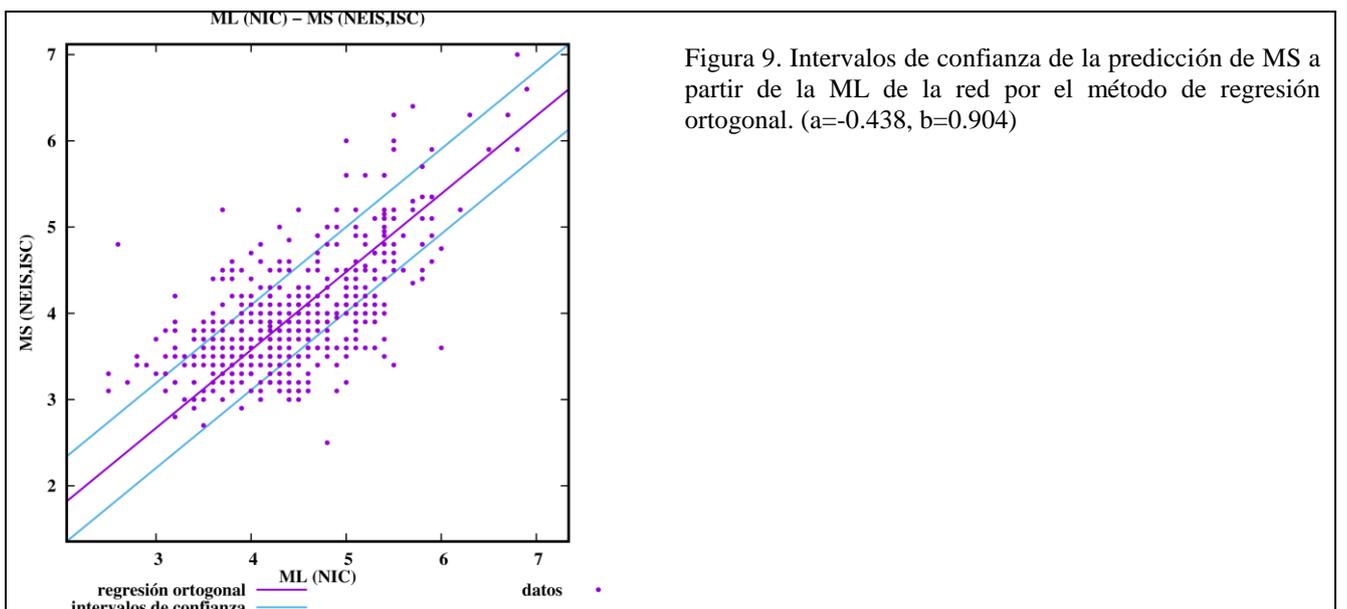
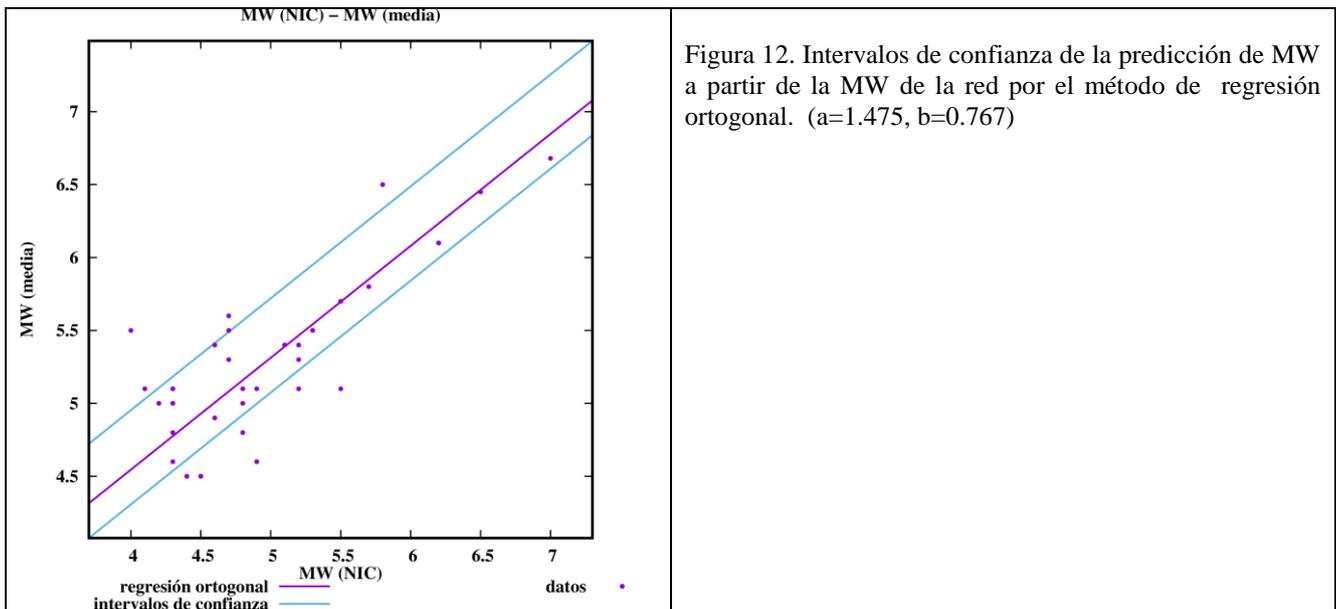
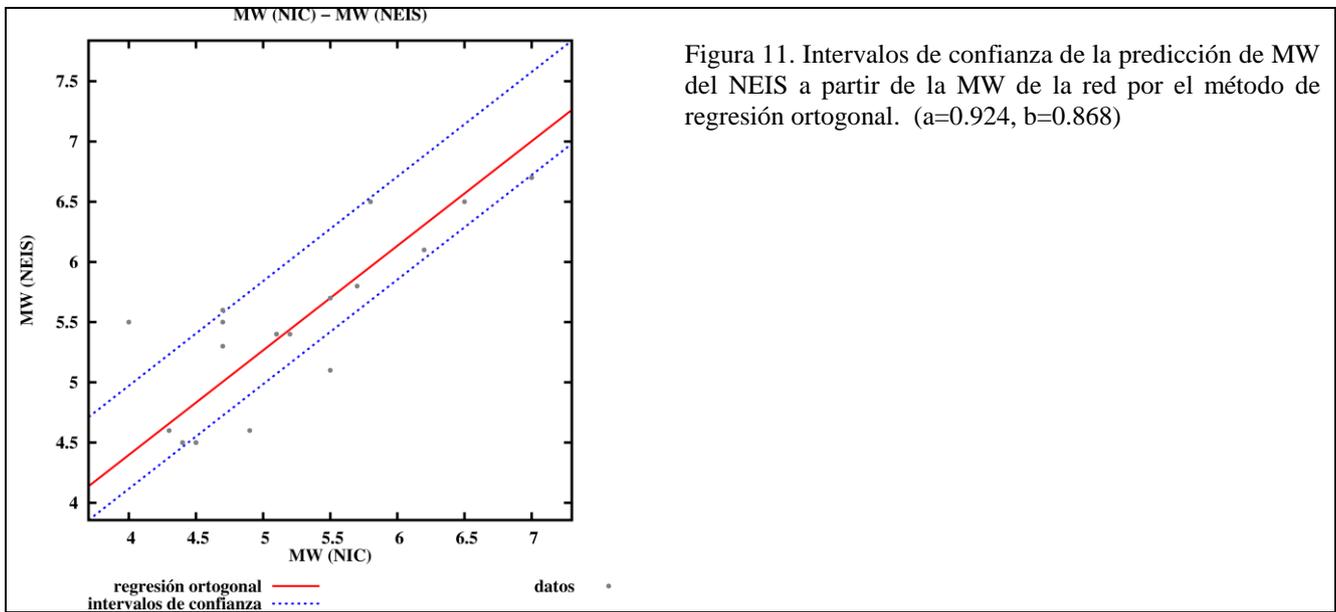
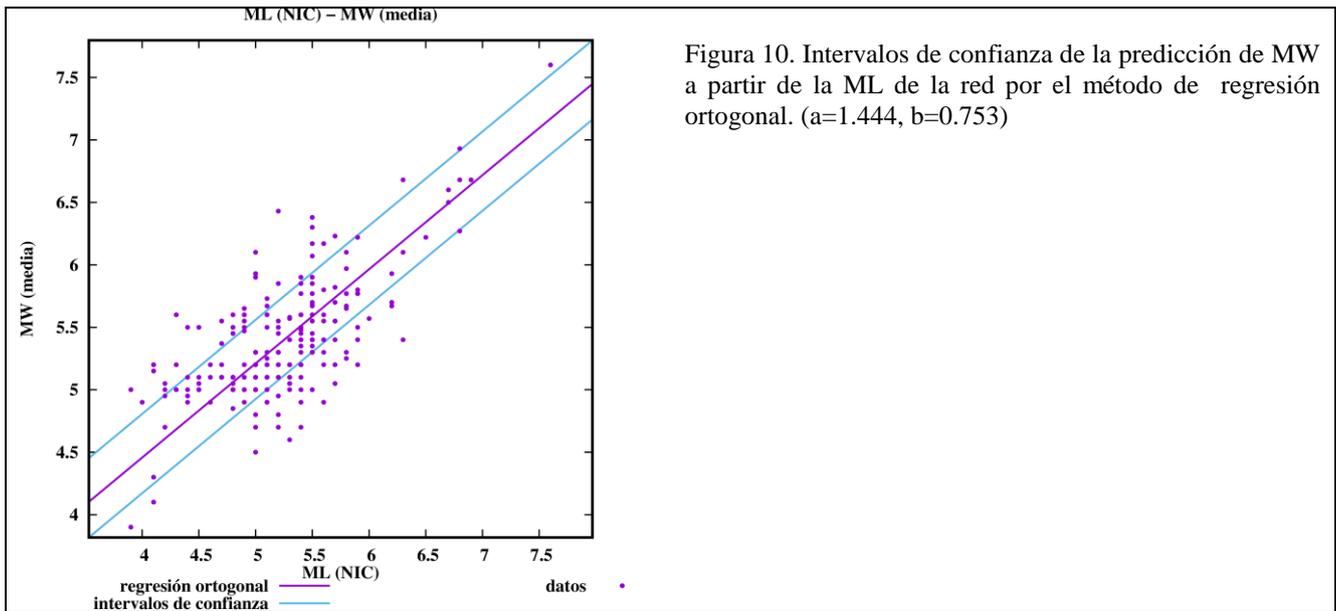


Figura 9. Intervalos de confianza de la predicción de MS a partir de la ML de la red por el método de regresión ortogonal. ($a=-0.438$, $b=0.904$)



Resumen de las ecuaciones de predicción recomendadas**a) Conversión interna entre magnitudes de la red**

$$MW(NIC)=1.097+0.694 \cdot ML(NIC) \quad (1)$$

$$ML(NIC)=-0.195+1.022 \cdot MC(NIC) \quad (2)$$

b) Conversión entre magnitudes de la red y magnitudes de las agencias internacionales

$$MS(ISC,NEIS)=-0.438+0.904 \cdot ML(NIC) \quad (3)$$

$$MW(media)=1.444+0.753 \cdot ML(NIC) \quad (4)$$

$$MW(NEIS)=0.924+0.868 \cdot MW(NIC) \quad (5)$$

$$MW(media)=1.475+0.767 \cdot MW(NIC) \quad (6)$$

Conclusiones

Las magnitudes determinadas por la red de estaciones nicaragüenses son coherentes entre sí y fue posible obtener regresiones confiables. La mayor estabilidad entre la ML y la MC la presenta la ML, que también es la más común en el catálogo. Para la MC no fue posible encontrar una relación directa con la MW, por lo que se recomienda no usarla a no ser que no exista más ninguna. En ese caso debe ser transformada a ML para poder transformarla a MW después, lo que trae aparejado un error mucho mayor.

La correspondencia entre magnitudes de redes locales y redes globales es muy importante para poder buscar posibles correcciones. El análisis realizado tuvo la dificultad de existir pocas determinaciones simultáneas de MW de la red nicaragüense y de las agencias globales. Aunque en estos momentos la red determina mayoritariamente MW, para años anteriores no era así, y habrá que esperar algún tiempo para que se pueblen las muestras de determinaciones simultáneas. Las regresiones obtenidas no son tan confiables como en el caso anterior, y es muy probable que vayan variando según aumente el tamaño de las muestras a analizar.

El coeficiente de correlación correspondiente a las magnitudes estudiadas en ningún caso es alto, lo que se refleja en la incertidumbre en conversiones individuales. Se puede tener una idea del valor equivalente de una determinación de magnitud de la red local con las magnitudes de las redes internacionales, pero no se pueden convertir directamente para terremotos individuales. Estas conversiones son útiles solo cuando se realizan trabajos de estadística de terremotos, en cuyo caso se transforman todas las magnitudes del catálogo a una específica, que por lo general debe ser la MW.