

APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE INTERPOLACIÓN ESPACIAL PARA CARACTERIZAR LA EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE UNA PLAYA

Jorge Labra O.¹, Mauricio Villagrán V.², Rafael Aránguiz M.³

RESUMEN.

Chile, siendo un país tan costero la estimación del transporte de sedimentos se hace un cálculo muy imprescindible. El gran costo computacional que esto implica no permite tener una serie de datos muy amplia del transporte de sedimento. Para poder tener una serie de tiempo de varios datos de oleaje se aplicó la metodología de interpolación espacial del hipercono (Camus et al; 2010). Esta metodología de interpolación se necesita una base de datos en aguas profundas para luego realizar el cálculo de variables en la costa. Se seleccionaron una cantidad acotada de estados de mar para propagar e interpolar y así obtener distintos datos de altura de ola y transporte de sedimentos. Los resultados de la interpolación realizada sobre datos de altura de ola. Presentan una convergencia al aumentar la cantidad de interpoladores. Por otra parte, los resultados obtenidos de la interpolación realizada al transporte de sedimentos no presentan una convergencia tan marcada como en la altura de oleaje. Los errores obtenidos al aplicar el modelo de interpolación al transporte de sedimentos son muy grandes, por esto es necesario tener una cantidad considerable de datos propagados, para así lograr una mejor convergencia del error.

PALABRAS CLAVES: Transporte de sedimentos, hipercono, propagación.

ABSTRACT

The sediment transport calculation is a very important calculation for a country how Chile, the great computational cost involved for this calculation makes it very difficult to have a time serie for the sediment transport in some coast of the from Chile, in order to have a time serie for several data it will be tried apply a interpolation methodology hypercube, developed for the researchers of the engineering hydraulics environmental department of the university of Cantabria, for apply this methodology of interpolation will be obtained data in deep water for later calculate different date in the coast, will be selected some data to propagate and will interpolate the dates in the coast to get a different data of the height wave and sediment transport in low water. So that the interpolation methodology work in a good way necessary have a considerable amount of data in low water therefore, in this study will be needed even more a lot date to get better results in this interpolation.

KEYWORDS: Sediment Transport, Hypercube, propagation.

1. INTRODUCCIÓN.

El cambio morfológico en un país tan costero como lo es Chile, es una variable de análisis muy importante para el estudio de las distintas zonas costeras, estos cambios en la playa son tan importantes que pueden llevar al colapso de estructuras costeras y al cambio de la Forma misma de la playa.

La obtención de datos detallados de estos cambios morfológicos en una serie de tiempo amplia es de mucha complejidad, debido a que estos cambios se deben analizar en zonas costeras en las cuales no se tienen muchos datos de oleaje o de transporte de sedimentos. Para obtener estos datos de oleaje y transporte de sedimentos es necesario algún modelo computacional o físico, los cuales al ser modelos morfológicos se debe invertir mucho tiempo en recursos computacionales, debido a esto se es casi imposible propagar una serie de tiempo de años de datos de estados de mar distintos. Para tener un mayor detalle en los datos en aguas someras, los investigadores del departamento de hidráulica ambiental de la universidad de Cantabria desarrollaron una metodología de interpolación espacial (Bonanata et al). Esta metodología ahorra significativamente los recursos computacionales, ya que solamente se deberán modelar algunos estados de mar y los restantes estados de mar se podrán obtener aplicando una interpolación, de esta forma se puede tener una serie de tiempo completa y detallada de datos de oleaje en aguas someras como se muestra en distintos trabajos anteriores (Camus et al; 2010)(Bonanata et al), en los cuales se ocupa una serie de datos de oleaje espectrales en aguas profundas para luego aplicar un método de interpolación espacial para obtener datos de oleaje en un punto deseado en la costa.

En este trabajo se adaptará esta metodología de interpolación espacial al transporte de sedimentos en la playa de Chivilingo, para así obtener una serie de tiempo detallada del transporte de sedimentos a lo largo de varios años.

ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio corresponde a la playa de Chivilingo (ver figura 1), esta planicie litoral se encuentra ubicada en la octava región de Chile a unos 12 kilómetros al sur de Lota y a unos 30 kilómetros al Sur de la ciudad de Concepción, dentro del golfo de Arauco. Esta playa está formada principalmente por rocas sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno y depósitos litorales como lo son arenas y gravas blancas debido a la alteración del granito intrusivo costero (Informe UBB).

La playa de Chivilingo tiene una orientación Norte-Sur, teniendo el continente por la dirección Este y el océano pacifico por el Oeste, tiene una superficie de aproximadamente 0,3 kilómetros cuadrados.

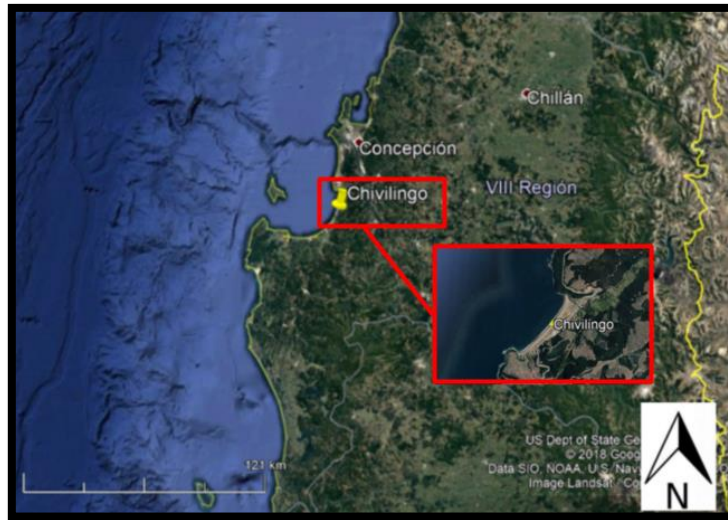


Figura 1. Localización playa de estudio, playa de Chivilingo.

2. MÉTODOS

Para poder aplicar de forma correcta esta interpolación espacial, se debe primeramente procesar datos de oleaje espectral en aguas profundas, luego se debe aplicar un método de selección de datos que se van a interpolar para luego finalmente ocupar el método de interpolación espacial.

2.1 Fuente de datos de oleaje

El clima de oleaje de la playa a estudiar se obtuvo a partir de los datos espectrales en aguas profundas del modelo WAVEWATCH III (WWIII). El modelo WWIII es la tercera generación de modelos de clima de oleaje desarrollados por la NOAA/NCEP (Komen et al; 1994). Este modelo resuelve la ecuación de conservación de la densidad espectral, este modelo WWIII tiene varias boyas virtuales alrededor del mundo. En Chile hay varias boyas virtuales que utilizan este modelo para poder generar los datos de oleaje espectral.

En este estudio se utilizó la boya virtual ubicada en las coordenadas 36S, 75W. Los datos utilizados para este estudio corresponden a datos de oleaje espectral obtenidos cada 3 horas, la serie de datos tiene datos de oleaje desde el año 1997 hasta el año 2018, es decir 20 años de datos.

2.2 Forzantes hidrodinámicas

Para tener una mejor segmentación del clima de oleaje este fue separado en 3 direcciones NorOeste (NO), Oeste (O) y SurOeste (SO). En la dirección NO se contempla el oleaje que está entre los grados 300° y 360° , el oleaje correspondiente al oeste considera datos de oleaje entre 240° y 300° , por último la dirección SO contiene oleaje proveniente de los grados 180° y 240° .

Esta separación de oleaje se hace especialmente para no obtener tanta variación en el transporte de sedimento que hay en la costa, ya que si se interpola entre transportes de sedimentos positivos y negativos puede que el modelo de interpolación tenga un error más grande de lo esperado.

Se escogen estas 3 direcciones debido a que son las que más porcentaje de incidencia tienen en la playa de Chivilingo, ya que por la dirección Este se encuentra el continente por eso el oleaje de las demás direcciones es prácticamente nulo como se muestra en la figura 2.

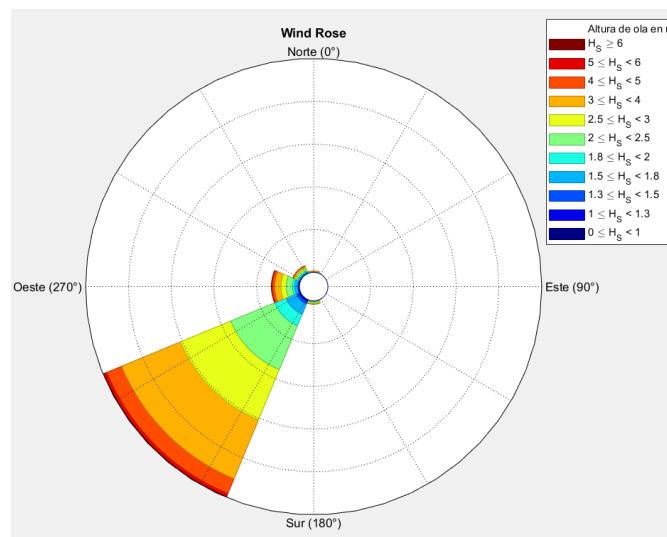


Figura 2. Rosa de oleaje de los datos de oleaje espectral utilizados para el estudio.

En la figura 2 se ve claramente que los oleajes que son algo significativos son los del Norte, Oeste y Sur, en las demás es prácticamente nulo el oleaje.

2.3 Método de selección de oleaje a propagar

Para seleccionar los estados de mar a propagar se utilizó el algoritmo de máxima disimilitud (MDA). Este método tiene como objetivo seleccionar un subconjunto de M valores a partir de una base de datos más grande de N valores (Camus et al; 2010).

El algoritmo para comenzar a seleccionar los M casos a propagar, debe tener un caso inicial escogido del vector N , el cual se transfiere al vector M . El resto de los valores del subconjunto M se obtienen iterativamente calculando la disimilitud entre cada uno de los datos restantes de la base de datos inicial de N valores, el modelo de selección MDA se detiene una vez que se hayan seleccionado la cantidad de datos que se quieren tener en el subconjunto de M valores (Camus et al; 2010).

Como parámetros de entrada a este método de selección se tiene el vector N que corresponde a la base de datos de oleaje espectral del WWIII para aguas profundas en el nodo seleccionado.

$$X_i^* = \{H_{s,i}, T_{m,i}, \theta_{m,i}\} \quad (i = 1, \dots, N)$$

Donde $H_{s,i}$ es la altura de ola medida en aguas profundas, $T_{m,i}$ es el periodo promedio medido en aguas profundas y $\theta_{m,i}$ la dirección promedio medida en aguas profundas (Camus et al; 2010).

La disimilitud entre el vector N con el valor seleccionado en M, se estima a partir de la máxima distancia entre ellos. Para seleccionar los demás valores del vector M, se calcula la máxima distancia entre los datos ya seleccionados y los datos restantes de la base de datos N (Ver figura 3). Este cálculo se repite hasta completar los M valores que se requieren (Camus et al; 2010).

La distancia entre valores se calcula como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\|X_i - D_j\| = \sqrt{(H_i - H_j^D)^2 + (T_i - T_j^D)^2 + (\min(|\theta_i - \theta_j^D|, 2 - |\theta_i - \theta_j^D|))^2}$$

Los datos H_i, T_i y θ_i corresponde a los datos de oleaje espectral de la base de datos en aguas profundas, por otro lado H_j^D, T_j^D y θ_j^D corresponde a los datos ya seleccionados por el método de máxima disimilitud (Camus et al; 2010).

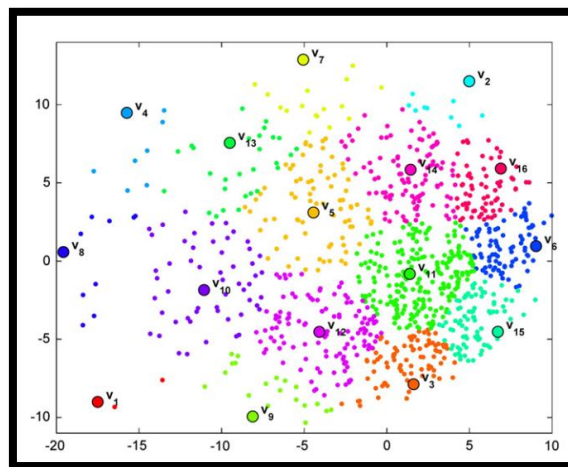


Figura 3. Ejemplo de selección de datos por el algoritmo de máxima disimilitud (Camus et al 2010).

El primer dato de entrada del vector de subconjuntos de M valores será la altura máxima que se presenta en la base de datos N (Camus et al; 2010), así se asegura que la mayoría de los datos de altura de oleaje queden dentro de los valores utilizados para realizar la interpolación.

Para efectos de este estudio se opta por utilizar 3, 5, 7 y 9 casos de interpolación por dirección y se dejarán otros 6 casos para validar la interpolación realizada (cálculo del error). De esta forma el total de casos a modelar corresponde a 15 casos por dirección, por consiguiente se tendrán un total de 45 casos de propagación.

Para la realización de este estudio el algoritmo de máxima disimilitud se encuentra programado en MATLAB.

2.4 Metodología de interpolación espacial

Para este estudio se utilizará el método de interpolación espacial del hipercubo, desarrollado por investigadores de la Universidad de Cantabria. Este método de interpolación considera una interpolación lineal tridimensional entre las distintas variables de interés, que para este caso corresponden a Hs, Tp y θ p (ver figura 4).

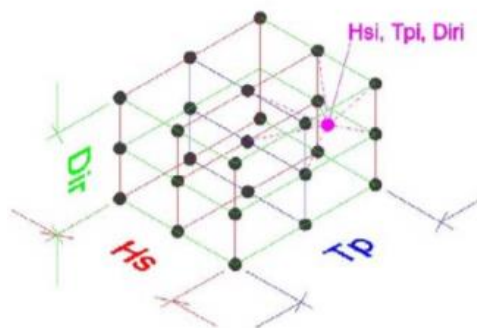


Figura 4. Esquema del método de interpolación espacial “hipercubo”, permite obtener datos de oleaje interpolando linealmente entre las variables (Bonanata et al).

Este método de interpolación está basado en funciones de base radial (radial basis function (RBF)) el cual es muy eficiente para datos multivariados y dispersos. Esta técnica de interpolación ha sido aplicada con mucho éxito en varios campos (Camus et al; 2011), y queda representada por la siguiente ecuación.

$$H_{sp,i} = RBF_h(X_i) = b_0 + b_1 * H_i + b_2 * T_i + b_3 * \theta_i + \sum_{j=1}^M a_j * \phi(\|X_i - D_j\|)$$

En donde b_0 , b_1 , b_2 y b_3 son coeficientes monomiales de una base monomial formada a partir de monomios de grado 1 que son iguales a la cantidad de variables de estudio que se quieran utilizar (Camus et al; 2011), a_j son los coeficientes de las funciones radiales bases, ambos coeficientes son obtenidos por las condiciones de interpolación.

Originalmente la aplicación de este método se realiza sobre los datos de altura de oleaje. De esta forma se adapta este modelo para el cálculo del transporte de sedimentos en la playa de Chivilingo. El transporte de sedimentos se reemplazó en por el periodo en la matriz de salida, debido a que el periodo es el parámetro que menos cambia, entonces como dato de entrada se utiliza el periodo correspondiente al estado de mar utilizado para interpolar y en la matriz de salida se reemplaza los datos de periodo interpolados por datos de sedimentos interpolados.

Para cuantificar la convergencia del método se analizará el comportamiento de este en 3 puntos distintos en la playa de Chivilingo (ver figura 5(B)), los cuales, para efectos de este estudio, se considerarán en forma conjunta tal de obtener un comportamiento promediado de la playa.

2.5 Modelo computacional

Para realizar la propagación de los casos oleaje (M) seleccionados con el MDA, se utilizaron los módulos Flow y Wave del software Delft 3D. El modelo morfológico desarrollado por Gómez et al; 2017, considera 3 mallas anidadas, de las cuales 2 (malla grande y malla media) son utilizadas por el módulo de propagación de oleaje, y 1 (malla pequeña) al módulo de transporte de sedimento.

El módulo Wave sirve para realizar la propagación de oleaje desde aguas profundas hacia aguas someras. Para una mejor convergencia utiliza 2 mallas de distinta resolución que trabajan de forma anidada. La malla más grande es de una resolución de 433x337 (ver figura 5 (A)), y la malla mediana tiene una resolución de 517x484 (ver figura 5 (A)). (condiciones de borde)

El módulo de Flow servirá para obtener el transporte de sedimento en algún punto específico en el que se quiera saber al igual que se puede saber el transporte de igual manera servirá para la obtención de altura de oleaje en puntos específicos de la malla, la malla del módulo flow es la más pequeña y tiene una resolución de 124x76 (ver figura 5 (A)). Las condiciones de borde utilizadas son, en el sur es un borde abierto con la condición de Neumann, al igual que en el Norte, y la condición de Mar es la marea.

Se utilizaron 3 sectores de los cuales se obtendrán datos, los cuales se identifican como playa norte, playa centro y playa sur (Figura 5 (B)).

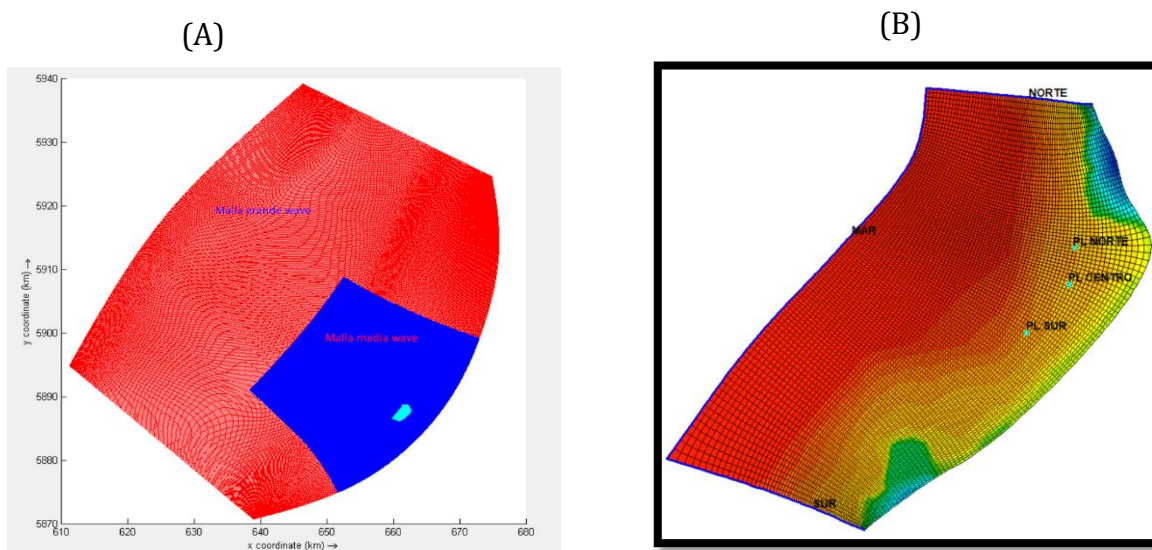


Figura 5. (A) malla grande de resolución, 433x337, Malla media del módulo wave, de resolución 517x484 y malla pequeña modulo flow, de resolución 124x76. (B) detalle de malla modulo wave indicando puntos de extracción de datos y condiciones de borde.

2.6 Ciclo de marea

Para hacer el análisis de transporte de sedimentos se utilizó una forzante mareal correspondiente a un día entero (2 ciclos de marea), separando los datos de las primeras 12 horas y luego de las 12 horas restantes. Debido a la relación entre la capacidad de transporte de sedimentos y la profundidad, es esperable que la primera cambie durante el periodo de análisis, no siendo constante para las 24 horas. Como una forma de analizar el efecto temporal en el transporte, se promedió la capacidad de transporte de sedimento para cada uno de los ciclos implementados (ver figura 6).

Para efectos de este estudio solo se utilizan primeras 12 horas de modelación debido a que es mas comparable la capacidad de transporte de sedimentos durante el primer ciclo que durante el segundo. Lo anterior se sustenta en que las batimetrías son iguales inicialmente, no así después de 12 horas.

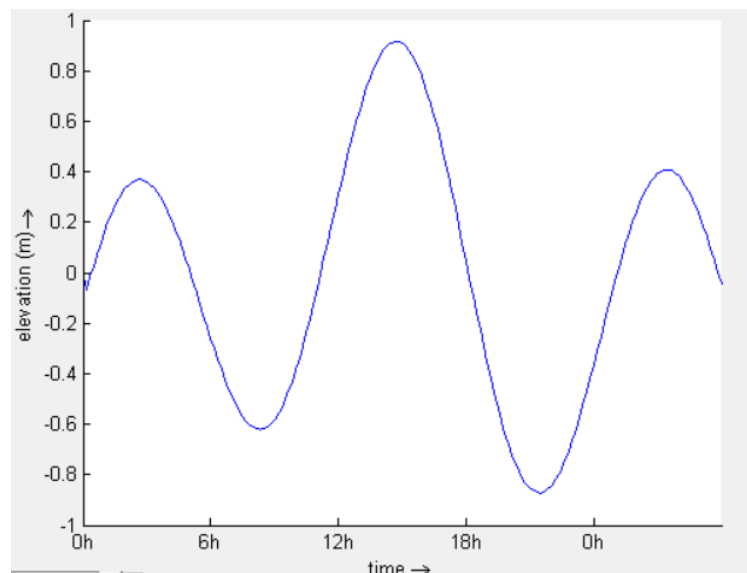


Figura 6. Ciclo de marea utilizado para la modelación de los estados de mar necesarios para realizar la interpolación y validación del modelo.

2.7 Error cuadrático medio

Para el cálculo del error se utilizó el error cuadrático medio representado en la siguiente ecuación

$$RMSE = \sqrt{\frac{|Resultado\ modelo^2 - Valor\ interpolado^2|}{Resultado\ modelo^2}} * 100$$

El cálculo del error se realizó para cada condición de interpolación, es decir considerando 3, 5, 7 o 9 casos de interpolación. Este error se obtuvo para los promedios de los datos de simulación obtenidos en los 3 puntos de la playa. Es importante indicar que el error solo se estimó si la capacidad de transporte de sedimento es superior a 1×10^{-7} ($m^3/s/m$), considerándose valores menores sin transporte de sedimento.

3. RESULTADOS

3.1 Modelo Delft-3D

Se presentan resultados del comportamiento del modelo numérico para condiciones de propagación de oleaje (figura 7(A)) y de transporte de sedimento total (figura 7(B)). Estos se obtuvieron a partir de la malla computacional del módulo flow (malla pequeña), por lo tanto se tendrá una mayor resolución de los datos.

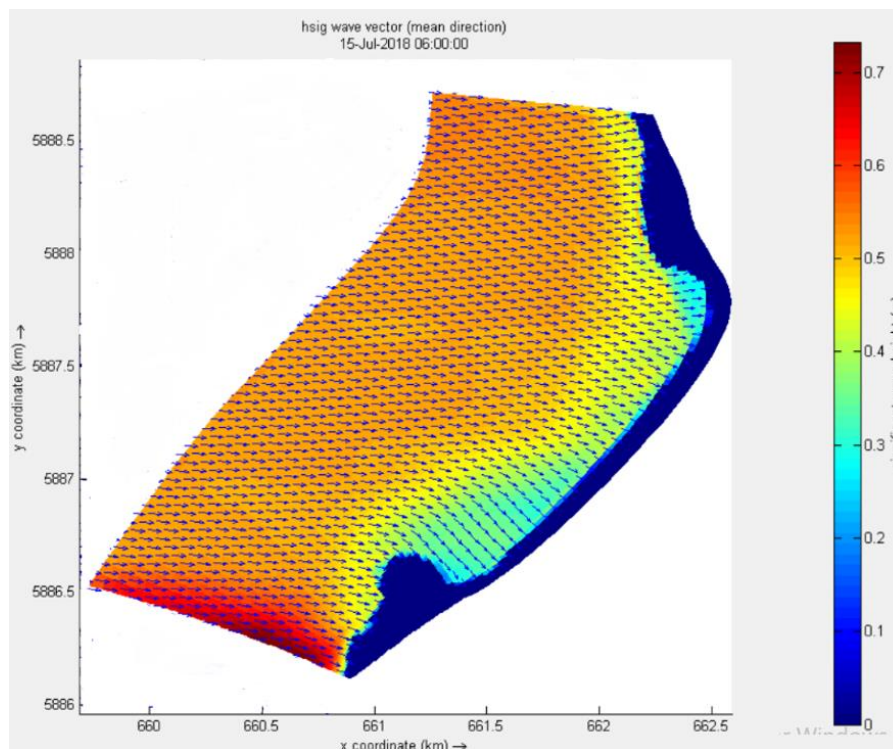


Figura 7. Modelo computacional malla de modulo flow, indica dirección y altura de oleaje propagado a la playa de Chivilingo.

La figura 7(A) muestra la propagación realizada a un estado de mar, correspondiente a la dirección oeste ($H_s=1.56$, $T_p=5.4$, $D_p=296.4$), donde no se aprecian inestabilidades del sistema. La figura 7(B) muestra resultados del transporte de sedimentos sobre la playa, los cuales se pueden sub dividir siguiendo las coordenadas de la malla (M,N) que son paralelas (transporte longitudinal) y perpendiculares (Transporte transversal) a la playa

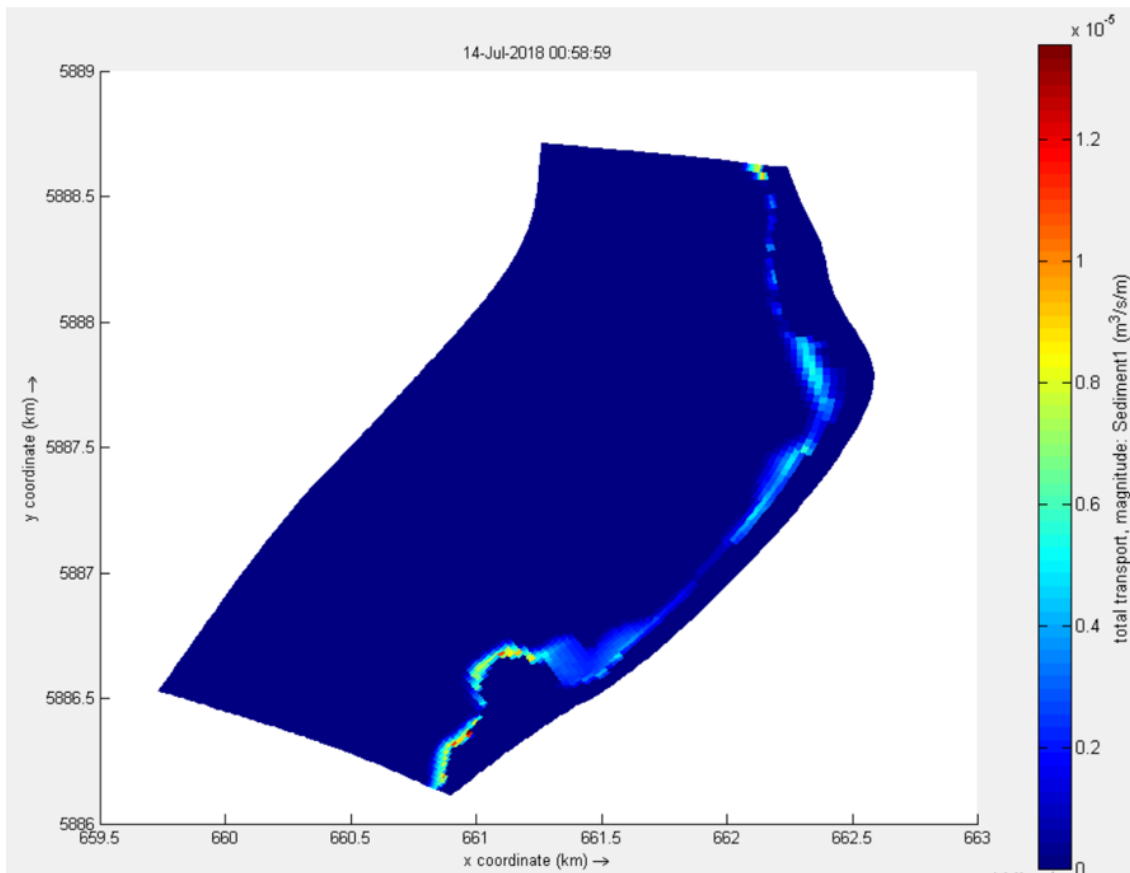


Figura 8. Modelo computacional malla de modulo flow, el transporte de sedimento total del estado de mar propagado.

El modelo presentado al igual es que en punto anterior es la propagación realizada a un estado de mar, correspondiente a la dirección oeste ($H_s=1.56$, $T_p=5.4$, $D_p=296.4$), se puede apreciar en los sectores en donde hay más transporte de sedimento para este estado de mar específicamente.

3.2 Selección de casos a propagar para interpolar y validar

Utilizando el MDA, se obtienen los 15 estados de mar a propagar para cada dirección. En la figura 9 se aprecia en color azul los 9 casos utilizados como interpoladores y en verde los 6 casos de validación. En la tabla 1 se puede observar el resumen de los 45 estados de mar seleccionados por el algoritmo MDA que fueron modelados numéricamente.

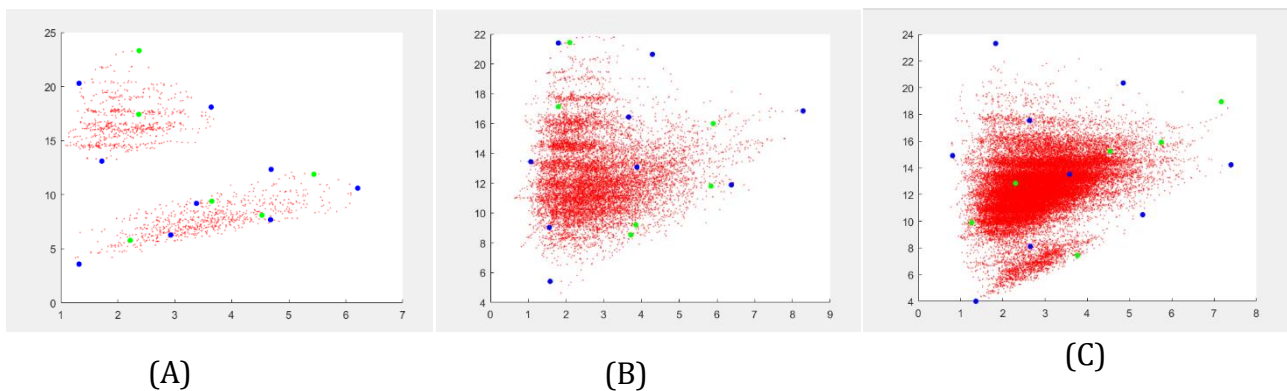


Figura 9. Grafico T_p v/s H_s , (A) dirección Norte, (B) dirección Oeste y (C) dirección Sur, puntos rojos estados de mar obtenidos de la boya virtual, puntos azules, estados de mar propagados para realizar la interpolación, puntos verdes estados de mar para validar el modelo de interpolación.

Los estados de mar que corresponden a los datos que se utilizan para validar el modelo de interpolación, en todas las direcciones en las que se separó el oleaje, en su mayoría están dentro de los márgenes de los estados de mar utilizados como interpoladores. Sin embargo, aún persisten casos fuera de los márgenes que deberían implicar grandes errores.

Tabla 1. Estados de mar propagados, los primeros 9 estados de mar de cada dirección corresponden a los estados de mar seleccionados para realizar la interpolación, los siguientes 6 estados de mar corresponden a los estados de mar seleccionados para validar el método de interpolación.

Caso	Norte			Oeste			Sur		
	Identificador	Hs	Tp	\emptyset	Hs	Tp	\emptyset	Hs	Tp
Int.1	6,2	10,6	317,1	8,3	16,9	248,7	7,4	14,2	234,9
Int.2	1,3	20,3	307,3	1,6	5,4	296,4	1,4	4,0	199,7
Int. 3	1,3	3,6	347,0	1,8	21,4	291,0	1,8	23,3	235,2
Int. 4	3,4	9,2	300,7	3,9	13,1	241,8	3,6	13,5	204,9
Int. 5	3,6	18,1	302,7	1,1	13,4	292,5	0,8	14,9	227,9
Int. 6	4,7	7,7	353,8	6,4	11,9	297,0	4,8	20,4	230,6
Int. 7	1,7	13,1	302,8	4,3	20,6	241,0	2,7	8,1	239,5
Int. 8	2,9	6,3	359,2	1,6	9,0	240,6	5,3	10,5	230,1
Int. 9	4,7	12,3	301,3	3,7	16,4	297,8	2,6	17,5	239,1
Val. 1	2,2	5,8	301,0	3,8	9,2	295,7	1,3	9,9	205,1
Val. 2	5,4	11,9	354,9	1,8	17,1	242,3	5,8	15,9	208,0
Val. 3	2,4	23,3	305,5	5,9	16,0	243,5	3,8	7,4	197,8
Val. 4	2,4	17,4	310,4	3,7	8,5	245,9	4,5	15,2	238,9
Val. 5	3,7	9,4	342,2	5,8	11,8	252,9	2,3	12,8	233,2
Val. 6	4,5	8,1	311,2	2,1	21,4	246,8	7,2	19,0	230,5

Los estados de mar indicados en la Tabla 1, fueron identificados según el escenario de análisis considerado. De esta forma los casos como "Int." Del 1 al 3 (color morado) corresponden a los escenarios de interpolación que contemplan 3 casos bases. De igual forma los casos identificados como "Int." 4 y 5 (color verde) corresponden a los 2 casos adicionales incorporados para el análisis que contempla 5 casos base. Análogamente para "Int." 6 y 7 (color naranja) e "Int." 8 y 9 (Color azul) corresponden a los análisis que contemplan 7 y 9 casos base respectivamente. Los casos identificados como "Val." del 1 al 6, son los estados de mar utilizados para validar la metodología de interpolación.

3.3 Interpolación espacial para oleaje

Como forma de verificar la rutina de interpolación, se utilizó el método de forma tradicional, interpolando alturas de oleaje. Los resultados que se obtienen para esta interpolación según dirección, se pueden observar en las figuras 10, 11 y 12 (NO, O y SO respectivamente).

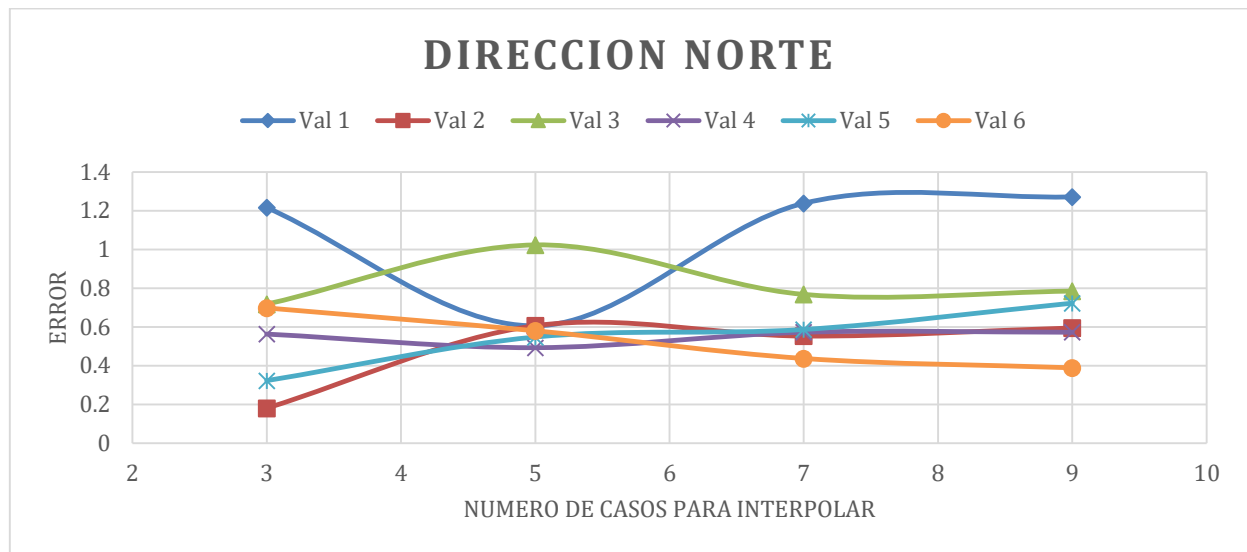


Figura 10. Interpolación espacial realizada a la variable de altura de ola, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, correspondiente a la dirección Norte.

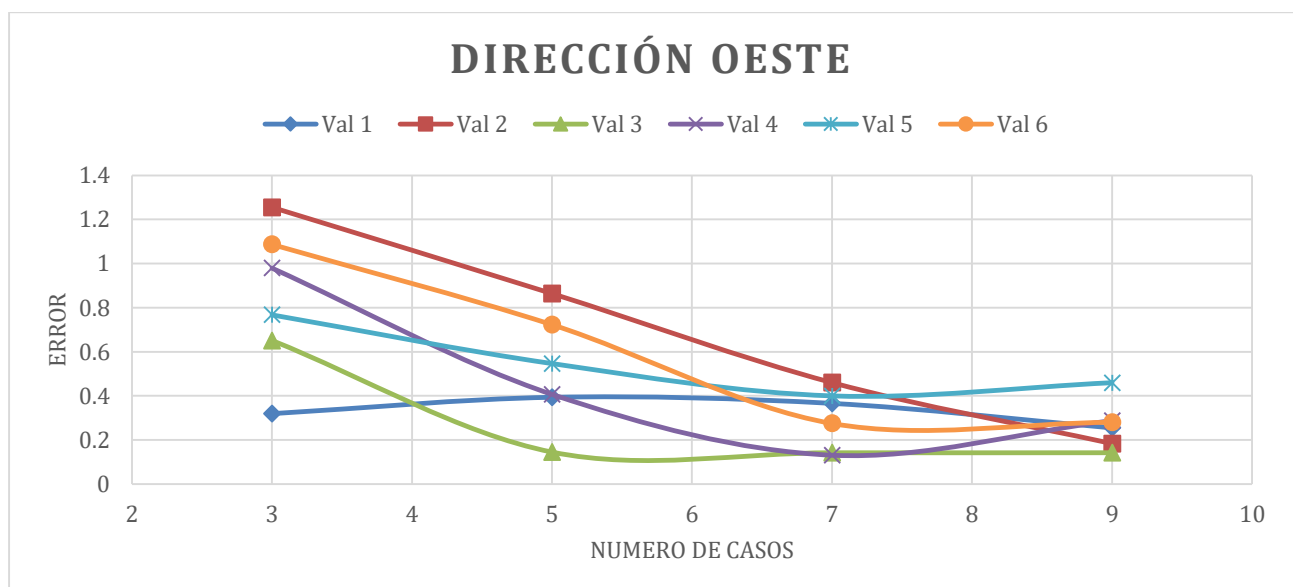


Figura 11. Interpolación espacial realizada a la variable de altura de ola, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, correspondiente a la dirección Oeste.

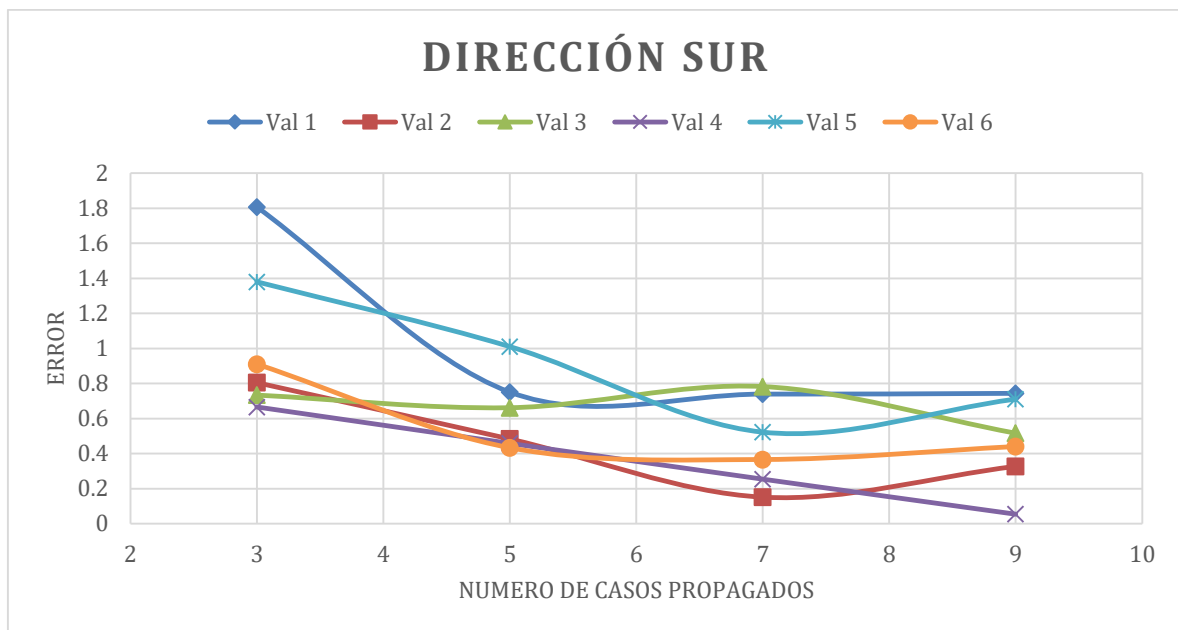


Figura 12. Interpolación espacial realizada a la variable de altura de ola, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, Correspondiente a la dirección Sur.

Como se pueden ver en las Figuras anteriores, el error en que se incurre en la interpolación disminuye lentamente a medida que se aumentan el número de casos base considerados. Los errores para 3 casos base, en muchas condiciones superan el 100% y la gran mayoría de los casos disminuye considerablemente el error a medida que se aumentan los números de interpoladores llegando a valores inferiores a 50% e incluso menores al 20% para las direcciones O y SO.

Los resultados obtenidos para la interpolación de oleaje permiten validar el funcionamiento del algoritmo de interpolación que se utiliza en este estudio.

3.4 Interpolación espacial para transporte de sedimentos

3.4.1 Transporte de sedimentos longitudinal

Otros de los resultados que se obtuvieron, corresponden a las interpolaciones realizadas para el transporte de sedimentos que va paralelo a la playa (longitudinal) en los 3 puntos individualizados en el modelo. Los valores indicados en las gráficas 13, 14 y 15 corresponden al RMSE calculado sobre el transporte de sedimentos en los 3 puntos de estudio.

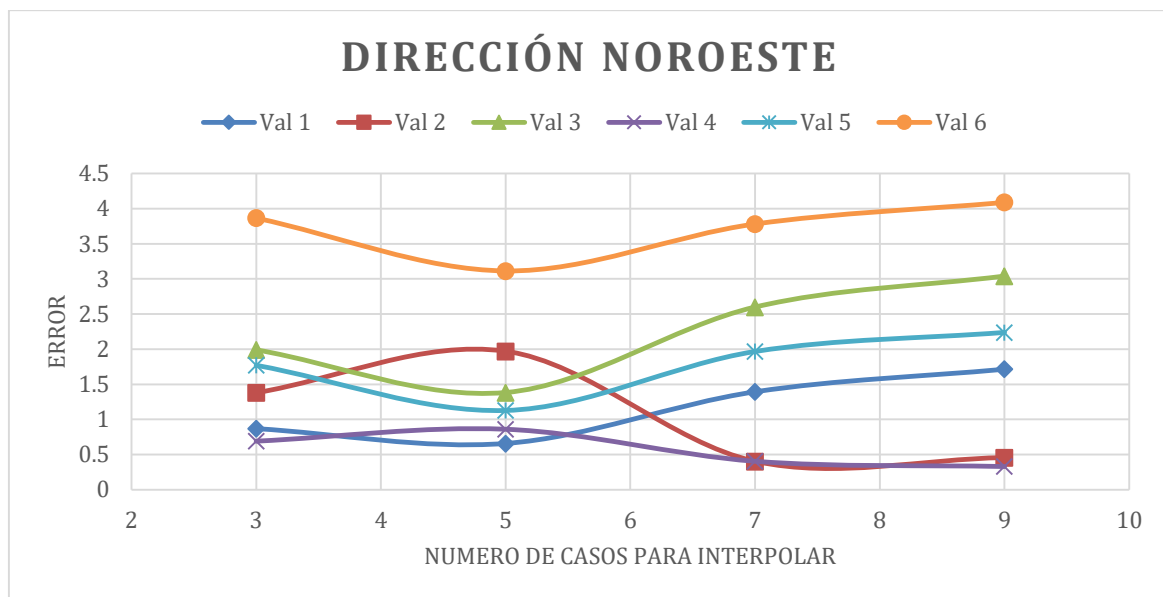


Figura 13. Resultados de interpolación espacial realizada a la variable de transporte de sedimento en el eje longitudinal de la playa de chivilingo, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, Correspondiente a la dirección Norte.

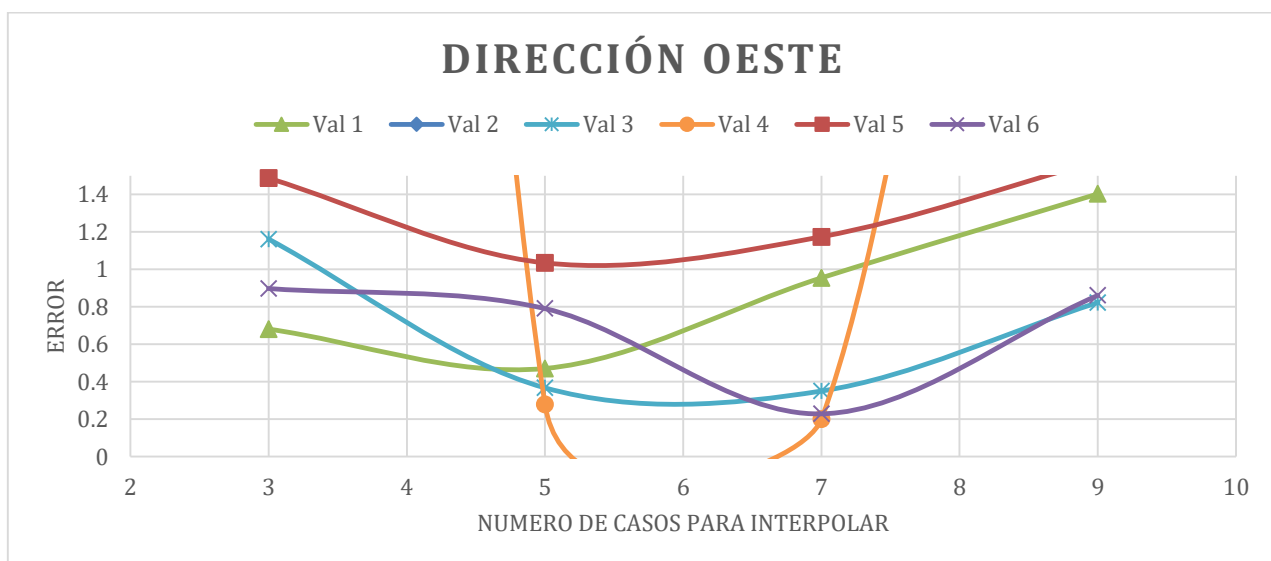


Figura 14. Resultados de interpolación espacial realizada a la variable transporte de sedimento en el eje longitudinal de la playa de chivilingo, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, Correspondiente a la dirección Oeste.

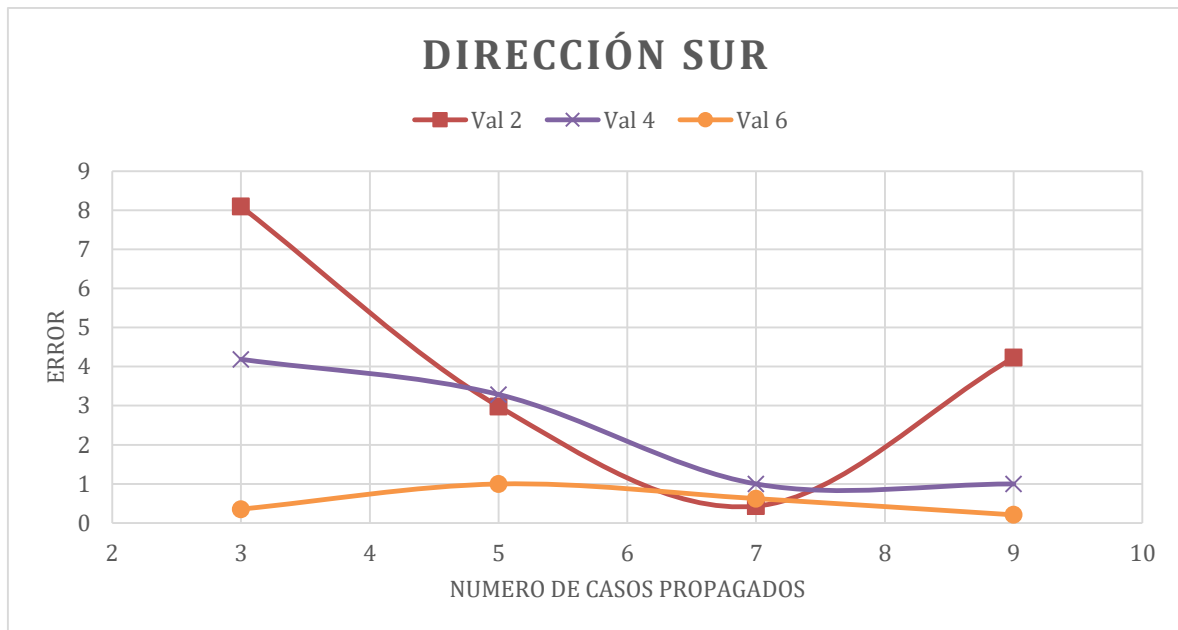


Figura 15. Resultados de interpolación espacial realizada a la variable transporte de sedimento en el eje longitudinal de la playa de chivilingo, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, Correspondiente a la dirección Sur.

Las interpolaciones muestran una alta variabilidad en los errores obtenidos para las 3 direcciones analizadas. En las direcciones O y SO el modelo de interpolación se comporta menos erráticamente, ya que logra niveles de error bajo el 100% en la mayoría de los casos con 9 interpoladores. La dirección NO, no presenta ningún tipo de convergencia observándose errores sostenidos que superan el 200% y 300%.

En las 3 direcciones se pueden apreciar casos atípicos: en la figura 13 (NO) 2 de los casos de validación tienden a mejorar el error, en cambio los 4 restantes tienden a empeorarlo con el aumento de interpoladores, en la figura 14 ningún caso presenta una mejoría notoria con el aumento de interpoladores, en la figura 15, 2 casos mejoran su error y uno lo empeora con el mayor numero de interpoladores.

En la figura 15 en la dirección sur solo se pueden apreciar 3 casos de validación, los cuales los 3 tienden a mejorar el error a medida que se aumenta la cantidad de interpoladores, los otros 3 casos no fueron considerados en el análisis debido a que el transporte de sedimento obtenido para dichos casos de oleaje fue prácticamente despreciable.

1.1.1 Transporte de sedimentos longitudinal

Otro análisis realizado correspondió a la componente de transporte transversal a la playa en los 3 sectores de estudio. Las figuras 16, 17 y 18 muestran las gráficas de error para las 3 direcciones NO, O y SO.

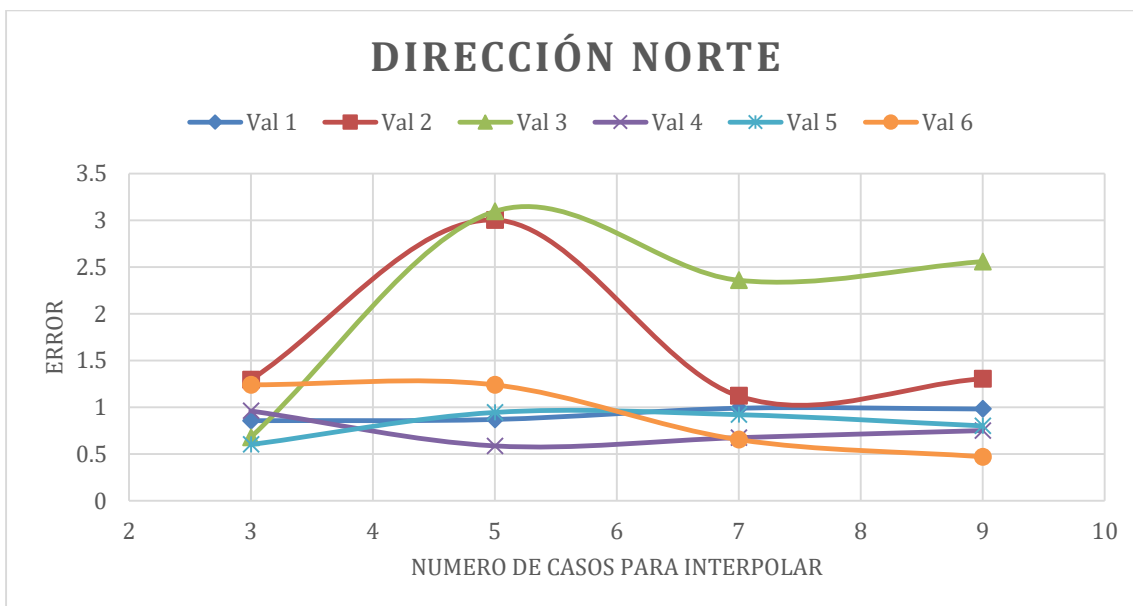


Figura 16. Resultados de interpolación espacial realizada a la variable de transporte de sedimento en el eje Transversal de la playa de chivilingo, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, Correspondiente a la dirección Norte.

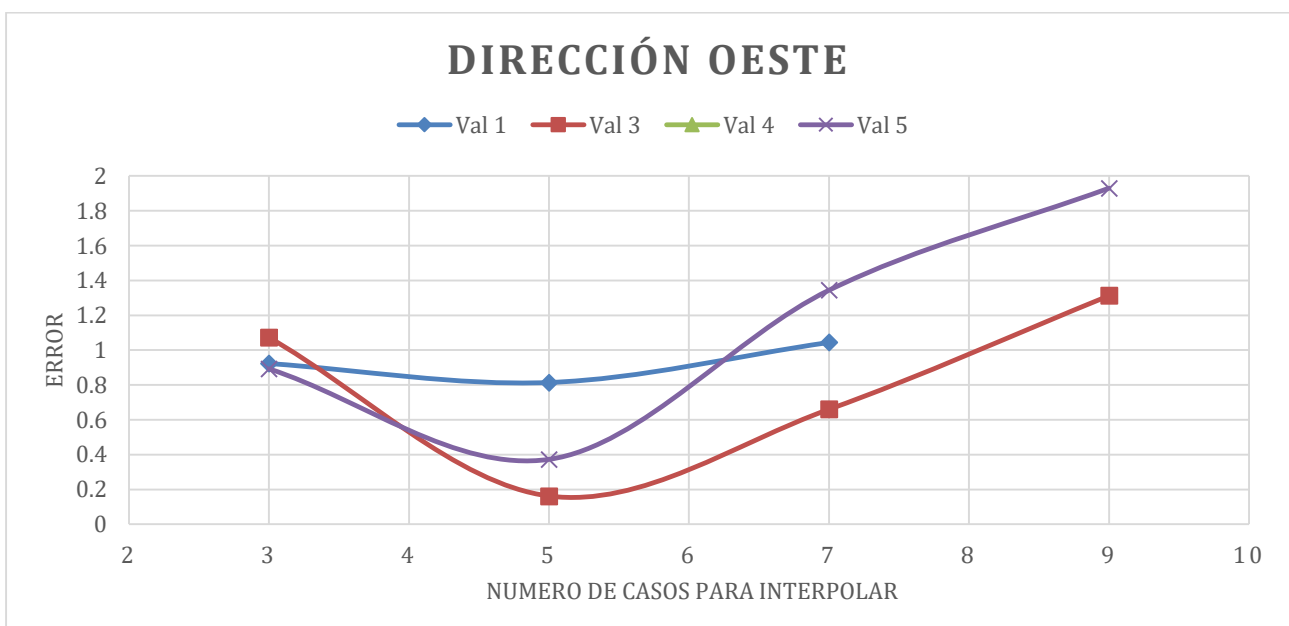


Figura 17. Resultados de interpolación espacial realizada a la variable de transporte de sedimento en el eje Transversal de la playa de chivilingo, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, Correspondiente a la dirección Oeste.

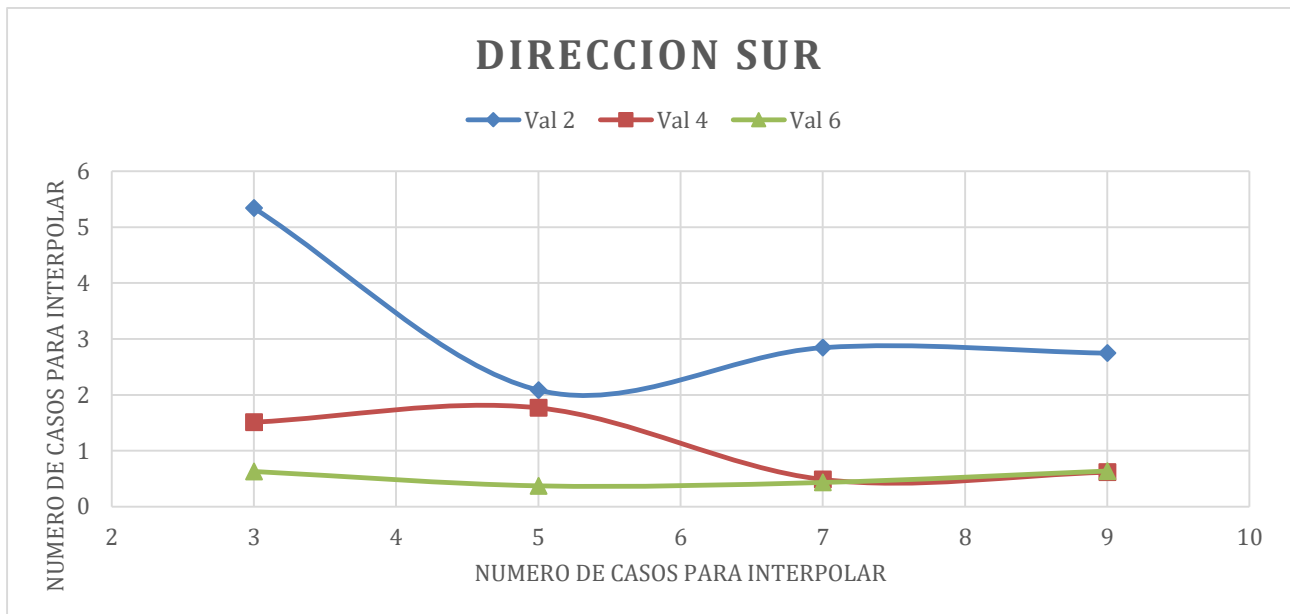


Figura 18. Resultados de interpolación espacial realizada a la variable de transporte de sedimento en el eje Transversal de la playa de chivilingo, interpolación realizada con 3, 5, 7 y 9 estados de mar, Correspondiente a la dirección Sur.

De forma análoga a lo observado para el transporte longitudinal, las 3 direcciones comportamientos erráticos en términos convergencia del error. Sin embargo, se aprecian magnitudes de error menores que para el caso longitudinal.

Los casos de oleaje provenientes de la dirección SO y de la dirección NO muestran niveles de convergencia, es decir, tienden a disminuir al aumentar la cantidad de interpoladores, no así con el oleaje proveniente de la dirección O el cual aumenta. Adicionalmente se observa que para las direcciones SO y O hay menos casos de validación debido a que las magnitudes del transporte de sedimentos observadas fueron despreciables.

2. DISCUSIONES

2.1 Velocidad de convergencia

En las figuras 10, 11 y 12 se pueden apreciar los errores que se tienen al realizar esta interpolación espacial con los datos de oleaje, estos errores van disminuyendo a medida que se aumenta la cantidad de interpoladores, aunque se tengan errores muy grandes estos tienden a disminuir, la cantidad de interpoladores usados y de casos de validación usados son muy pocos, en trabajos anteriores (Camus et al; 2011)) (Bonanata et al), se tienen muchos mas casos de modelación para poder utilizar este modelo (ver figura 19) .

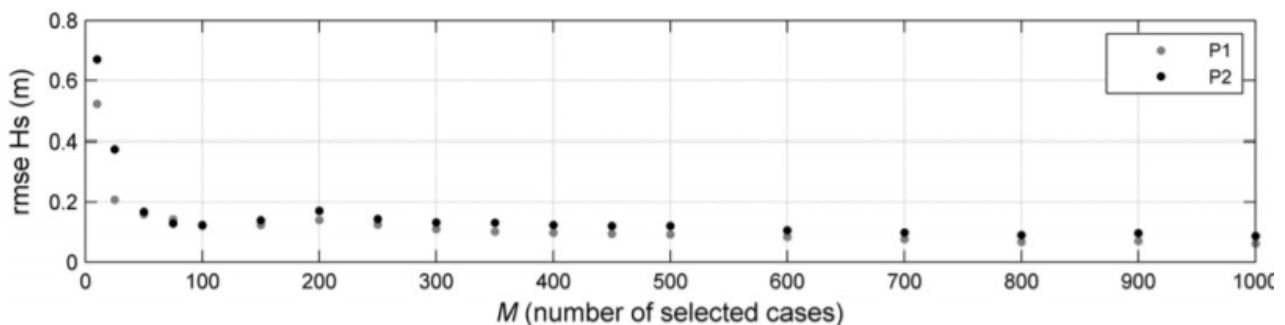


Figura 19. Errores de método de interpolación utilizado sobre datos de altura de ola (Camus et al; 2011)

Como se puede apreciar en la figura 18 los errores que se obtienen al tener pocos interpoladores es prácticamente alto comparado con los errores que se van obteniendo al aumentar la cantidad de estos, la gran diferencia es que en este estudio al solamente trabajar con datos de oleaje, los modelos computacionales son bastante más rápidos que los modelos computacionales en los que se incluye el cálculo de la morfología, aun así en este caso el método de interpolación espacial llega alcanzar cierta estabilidad alrededor de los 500 interpoladores, en este estudio se trabajó con 9 interpoladores con dirección solamente.

Aun así en los casos en donde se usa el método de interpolación para el oleaje se logra a ver la tendencia a disminuir el error, comparando con la figura 19 se encontraría en una primera etapa donde si se logran bajar los errores rápidamente.

Para el caso de las interpolaciones realizadas para el transporte de sedimentos, en la mayoría de los casos se logra bajar el error inicial comparándolo con el error al tener 9 interpoladores, estas interpolaciones se encuentran aún en una etapa donde el método de interpolación no se logra estabilizar por completo, pero aun así se logra apreciar que los errores tienden a disminuir en la mayoría de los casos.

2.2 Ubicación del punto de estudio

En las figuras 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se puede apreciar los distintos errores que se tienen al realizarse la interpolación espacial al transporte de sedimentos, esto se puede deber a varias cosas, una de las más importantes es los puntos seleccionados para extraer información del transporte de sedimentos, lo más óptimo para realizar este tipo de análisis es cubrir una zona más amplia en donde extraer los datos de transporte, debido a que no en todos las propagaciones de oleaje se obtiene el máximo transporte de sedimentos en el mismo punto o zona (ver figura 20).

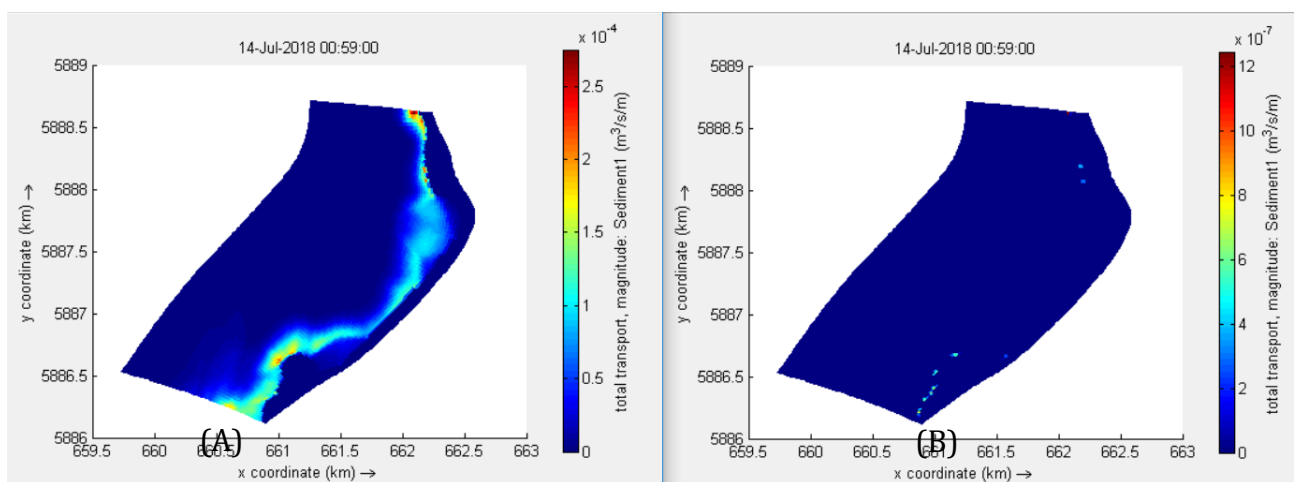


Figura 20. Transportes de sedimentos total de la malla flow para distintos estados de mar, a la izquierda estado de mar con altura de ola 7.17 dirección sur, a derecha estado de mar con altura de ola 1.36 dirección sur

Se ve claramente como los transportes de sedimentos se producen en zonas totalmente distintas en ambos casos, por ende, la interpolación que se puede lograr en estos casos no es muy buena, pasa lo mismo para los distintos casos utilizados para el estudio.

2.3 Comparación de error

Comparando los errores que se tienen en la figura 18 (Camus et al; 2011), en la interpolación realizada para los datos de altura de ola, se tienen errores muy similares, se logran obtener valores de errores de altura de oleaje de alrededor de 0,9 metros, algo similar a lo que ocurre en el trabajo realizado mostrado en la figura 18 que alcanzan a tener errores de 0,8 metros empezando a utilizar el método con pocos interpoladores.

3. CONCLUSIONES

Como se pudo observar en este estudio, la metodología de interpolación especial tiende a ser correcta para los distintos casos de oleaje y de transporte de sedimento, sin embargo la cantidad de casos que se utilizaron para este estudio siguen siendo muy pocos, comparando con los demás trabajos que han utilizado este método de interpolación espacial (Camus et al; 2010)(Bonanata et al), en donde en esos trabajos hay más de 300 datos para poder aplicar este método de interpolación, esto se hace fácil en estos casos debido al tiempo de modelación, los modelos que solo utilizan para obtener datos de oleaje en la costa suelen demorar mucho menos que los modelos utilizados para obtener resultados de transporte de sedimentos, por esta razón también se escoge la playa de Chivilingo, al ser pequeña el modelo morfológico dura considerablemente menos comparado con alguna otra playa de mayor interés de estudio.

Para un mejor análisis en las variables de transporte de sedimentos es necesario tener una mayor zona en donde obtener resultados del transporte de sedimento, en este trabajo solo se utilizaron puntos específicos para la obtención del transporte, para todos los casos es el mismo punto de estudio, se recomienda utilizar otro método de obtención de datos como obtener datos según algún transecto del modelo computacional o bien de alguna zona más grande de estudio.

En este estudio, si bien los errores son muy altos, se logran bajar considerablemente entre 3 interpoladores y 9 interpoladores, esto da a pensar que si se aumenta la cantidad de estos los errores deberían disminuir mucho más.

4. AGREDECIMIENTOS

Agradecimientos a Matías Gómez por facilitar el modelo computacional con el que se trabajó y a Sebastián Solari y Rodrigo Máuser por facilitar los códigos de Matlab para realizar esta investigación.

5. REFERENCIAS

- Camus, P., Mendez, F.J., Medina, R., Cofiño, A.S., 2010. Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. Coastal Engineering.
- Camus, P., Mendez, F.J., Medina, R., 2011. A hybrid efficient method to downscale wave climate to coastal areas
- Bonanata R., Medina R., Silveira L., Benedet L., Metodología para la caracterización del clima marítimo en un punto cerca de la costa a partir de una serie de datos en aguas profundas.
- Komen, G.; Cavaleri, L.; Donelan, M.; Hasselmann, K.; Hasselman S., and Jassen, P., 1994. Dynamics and Modeling of Ocean Waves. Cambridge U. Press, 532.
- Gómez m., Villagran M., Aranguiz R., 2017. Characterizing the longshore transport direction on beaches in the gulf of Arauco, Chile, to assess morphological shoreline evolution.
- Informe UBB, 2019. [http://leu.ubiobio.cl/archivos/riesgos_costa/1_capitulo_I_diagnostico.pdf\(07-10-2019\)](http://leu.ubiobio.cl/archivos/riesgos_costa/1_capitulo_I_diagnostico.pdf(07-10-2019)).