



**UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS**

TÍTULO:

Aplicación metodológica para registros sobre humedad
en la región climática del Valle Central.

AUTOR:

Sánchez Moreira Steve.

Práctica profesional supervisada como cumplimiento de los requisitos para el bachillerato
en CIENCIAS GEOGRÁFICAS CON ÉNFASIS EN ORDENAMIENTO DEL
TERRITORIO

INSTITUCIÓN:

Instituto Meteorológico Nacional

RESPONSABLE INSTITUCIONAL:

Luis Fernando Alvarado Gamboa

ACADÉMICO:

Luis Guillermo Calderón Ramírez

Noviembre, 2020.
Heredia, Costa Rica.

Agradecimientos

En primera instancia, agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida.

Durante el desarrollo de esta investigación, queda plasmado el apoyo obtenido por mis familiares, amistades, colegas y profesores, quienes han contribuido y aportado durante mi proceso de formación en las Ciencias Geográficas. Inicialmente deseo referirme hacia mi familia, quienes siempre me han demostrado buenos valores y me han apoyado en toda adversidad, especialmente a mi madre, una mujer luchadora y dedicada que siempre ha sido mi apoyo incondicional.

También brindo mi gratitud a Luis Fernando Alvarado Gamboa, tutor institucional que junto con Nury Sanabria Valverde y Marilyn Calvo Méndez, me brindaron la confianza y todo el apoyo para poder realizar la Práctica Profesional Supervisada en el Instituto Meteorológico Nacional, así como Manuel Spínola, Karina Hernández Espinoza, Rubén Morales Aguilar y Cristina Araya Villalobos, quienes brindaron su aporte fundamental para la elaboración de la investigación.

Agradezco a mis compañeros y compañeras por hacer este proceso más ameno y especialmente a Ericka Bermúdez Méndez, quién siempre me motiva para ser mejor cada día y nunca rendirme a pesar de las adversidades, persona con la cual establecí un vínculo más allá de la vida académica. Por otra parte, a Kenneth Páez Carrillo y Roy Bonilla Castillo, con quienes compartí muchas experiencias y conocimientos durante todo este proceso.

Índice

Agradecimientos.....	2
Índice	3
Lista de Acrónimos.....	4
I.Introducción	5
II. Planteamiento del Problema	6
III. Objetivos.....	7
III.I. Objetivo General.....	7
III.II. Objetivos específicos.....	7
IV. Justificación.....	8
V. Metodología.....	9
V.I. Área de estudio	9
V.II. Materiales y procedimiento	10
VI. Análisis de resultados.....	12
VI.I. Descripción de métodos de interpolación	12
VI.II. Aplicación de métodos de interpolación.....	14
VI.III. Validación de los métodos de interpolación.....	21
VII. Conclusiones y recomendaciones	24
VII. Referencias bibliográficas.....	25

Lista de Acrónimos

CC	.....	Cambio climático
CRRH	.....	Comité Regional de Recursos Hidráulicos
EMA	.....	Estaciones Meteorológicas Automáticas
IDW	.....	Inverse Distance Weighting
IMN	.....	Instituto Meteorológico Nacional
MI	.....	Método de Interpolación

I.Introducción

Durante los últimos años, se ha logrado evidenciar el auge de los distintos estudios enfocados a diversas variables climáticas, como es el caso específico de la humedad, dicho elemento es fundamental y demandado por una gran cantidad de sectores como la industria, construcción, agrícola, ganadero, entre otros; sin embargo, en muchos de los casos se carece de una herramienta que brinde información meteorológica de forma rápida y eficaz, prácticamente en tiempo real.

A partir de esto, es que la presente investigación realizada en el Instituto Meteorológico Nacional, consiste en evaluar los métodos de interpolación en elementos climáticos, que genere un mejor ajuste para la elaboración de una climatología sobre la humedad de la región del Valle Central. Para lograr esto, la investigación iniciará con una revisión bibliográfica sobre distintos artículos científicos, libros y ensayos, relacionados con los procesos de interpolación, específicamente para Kriging e IDW, para su posterior aplicación con el propósito de conocer cual brinda un mejor ajuste en el área de estudio y bajo la variable de humedad.

La importancia de la presente investigación reside en obtener datos de forma detallada sobre la humedad para la región climática del Valle Central; además de brindar a la institución (IMN), una metodología más apropiada para la elaboración detallada de mapas de humedad relativa a partir de datos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas, y que dicha metodología sea posible adaptarla en otros elementos climáticos y a otras escalas espaciales.

II. Planteamiento del Problema

Costa Rica se localiza dentro de dos grandes masas oceánicas calientes, con una situación ístmica que permite la influencia marina, además de poseer un relieve vigoroso en términos altitudinales y una gran variedad en climas y vegetación; esto según la exposición a la influencia dominante de uno u otro océano (Vargas, 2006).

La topografía presente en el país es de forma variada, cordones montañosos y valles que cubren casi por completo el territorio nacional; prevalecen dos sistemas montañosos que corren en el interior del país, la Cordillera Volcánica Central y la Cordillera de Talamanca, en el sector sur, las cuales actúan como barrera a la libre circulación de vientos. Dichos sistemas montañosos, según Solano y Villalobos (2015), en conjunto con los vientos predominantes del norte (vientos alisios); han establecido tres regiones climáticas: la Región Tropical Húmeda del Atlántico, Región Central Intermontana y la Región Tropical del Pacífico.

Con base en lo anterior, la gran variedad de climas presentes en el país y la importancia sobre distintos estudios climáticos durante las últimas décadas, ha producido una creciente demanda de información climática e hidrológica, tanto histórica como en tiempo real. Esta demanda se da por parte de las comunidades y distintos grupos económicos a las instituciones públicas, que son los principales gestores de la información meteorológica e hidrológica, por dicha razón, se han visto en la necesidad de incorporar métodos y técnicas de procesamiento de datos, así como distintas rutinas de interpolación de forma espacial y temporal (Andrade y Moreano, 2013).

Asimismo, existe en el país la necesidad de una herramienta de consulta que sea capaz de brindar una respuesta rápida y eficaz, con el propósito de conocer las distintas características climáticas en un tiempo y espacio determinado. Con lo anterior, según Andrade y Moreano (2013), este tipo de información es sumamente demandada por sectores como la construcción, agropecuario, riego, comisiones de desastres, consultores, entre otros, y en gran parte de los casos está es muy limitada o incompleta.

A la vez, esta misma problemática, puede influir en los distintos estudios y posibles escenarios de Cambio Climático (CC), Useros (2013) afirma que el “cambio climático ocupa

hoy uno de los primeros lugares entre los problemas que afectan a la humanidad, debido a que produce variaciones en el tiempo sobre los elementos constituyentes del clima, como son temperatura, presión atmosférica, vientos, humedad y precipitaciones (p.73)”. Esto se debe a que sin información completa y a tiempo real, los distintos estudios de cambio climático no serán tan precisos, situación que dificulta la acción y la toma de decisiones tendientes a distintas medidas de adaptación y mitigación sobre esta problemática.

III. Objetivos

III.I. Objetivo General

Evaluar los métodos de interpolación de elementos climáticos, que generen un mejor ajuste para la elaboración de una climatología sobre la humedad de la región del Valle Central.

III.II. Objetivos específicos

- i. Describir los métodos de interpolación de Kriging y ponderación de distancia inversa (IDW), dirigidos a variables climáticas mediante la revisión bibliográfica, para la correcta aplicación.
- ii. Aplicar los métodos de interpolación, Kriging y ponderación de distancia inversa (IDW) dirigidos a la elaboración de climatologías sobre la humedad, para la elaboración cartográfica.
- iii. Comparar la cartografía obtenida por los métodos de interpolación, a partir de los resultados sobre los datos de humedad, para la selección del que presente mejor ajuste.

IV. Justificación

El clima de Costa Rica es variado y presenta cambios muy drásticos en territorios con diferencia de distancia relativamente cortas, es por eso, que conocer el clima de una zona en específico es de suma importancia, puesto que influye en las actividades humanas y su adaptación, tal es el caso de la construcción, citado al inicio de esta investigación, por motivo de que las edificaciones pueden ser más ventiladas o más cerradas. Por otra parte, el clima influye también en la flora y fauna que se encuentra en un área específica, debido a que, a partir de esto, existen especies que pueden adaptarse, según la temperatura y escasez del agua, y establece el tipo de actividad económica presente en cada sitio como la ganadería, la agricultura, comercio, industria y turismo, así como actividades deportivas.

Tomando esto en consideración, la importancia de la investigación, radica en un primer factor, el cual consiste en obtener datos de forma detallada sobre la humedad para la región climática del Valle Central, a partir de un análisis exhaustivo de los métodos de interpolación más comunes para la determinación de elementos climáticos, como lo es Kriging y la ponderación de distancia inversa (IDW), con el objetivo de que a partir de datos más precisos y actualizados de la humedad, sea posible realizar estudios de escenarios de cambio climático.

Mediante los resultados obtenidos, es posible generar estudios para conocer los déficit y ganancias del sistema hídrico, aspecto que puede perjudicar o beneficiar el ciclo de plantación en ciertos cultivos presentes dentro del área en estudio. Por otra parte, para el sector de la construcción, a partir del conocimiento detallado de la humedad relativa, es posible definir el tipo de material de construcción a utilizar, con el propósito de que no se dañe la estructura, como el caso de la madera, material que se puede pandear, hinchar o pudrir en un ambiente con alto contenido de humedad.

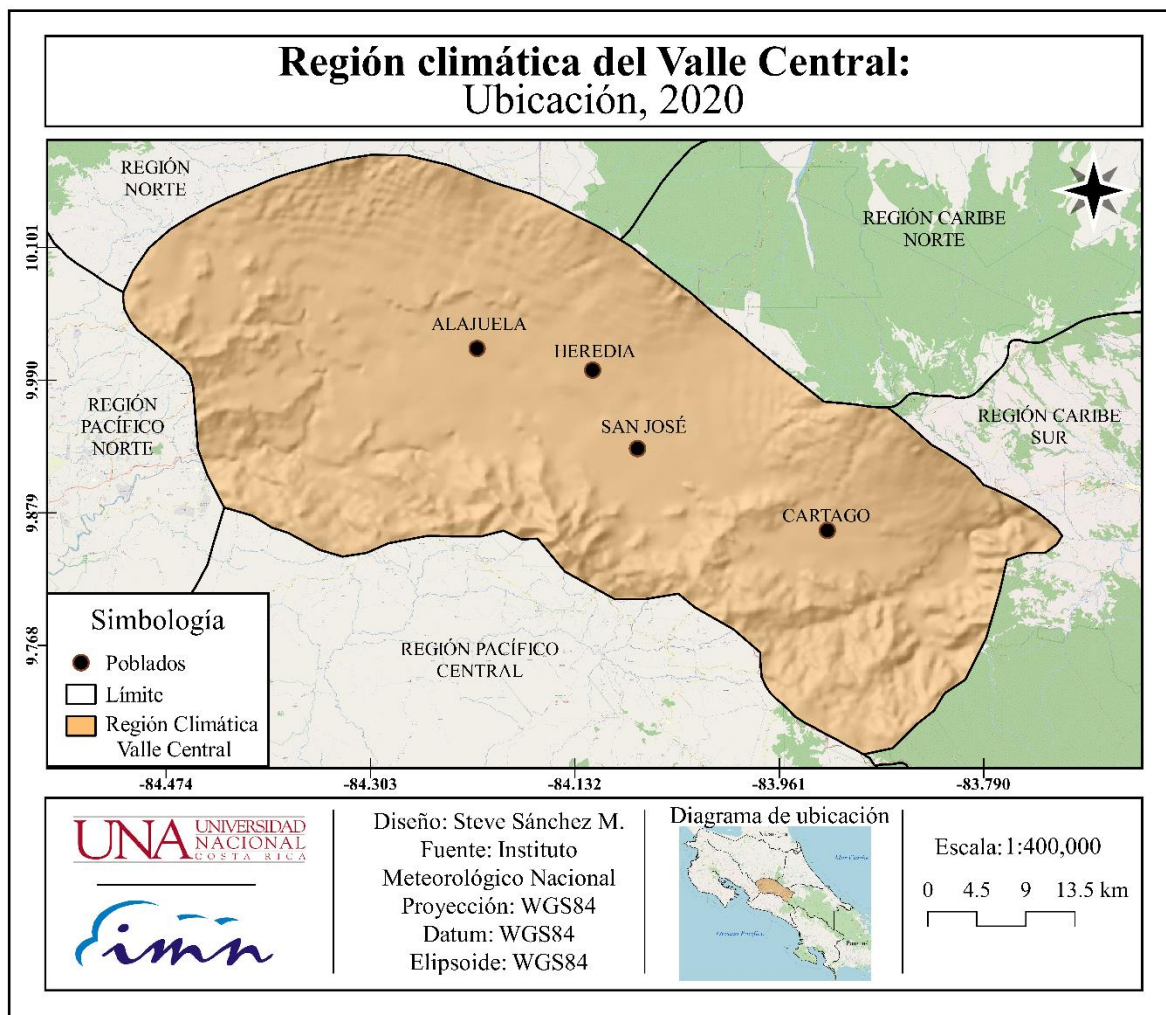
El segundo factor, reside en dar a conocer a la institución, una metodología eficiente y eficaz de interpolación para la variable de humedad, que permita obtener una alta calidad de resultados, además de, servir como posible modelo para la aplicación, en otras regiones y bajo otros elementos climáticos, como el caso de la radiación solar y el viento.

V. Metodología

V.I. Área de estudio

En la presente investigación, se realiza una evaluación de los métodos de interpolación de Kriging e IDW, para la obtención de una climatología detallada sobre la humedad presente en la región climática del Valle Central (Figura N°1); dicha área se ubica en el centro del país, es considerada como una región tectovolcánica y limita al norte con la Cordillera Volcánica Central, al sur con los Cerros de Escazú, Cedral, Tablazo y la Fila Candelaria; por otra parte, al oeste limita con los Montes del Aguacate y al este por las cercanías de la Cordillera de Talamanca (IMN y Comité Regional de Recursos Hidráulicos, 2008).

Figura N°1
Mapa de ubicación para la Región climática del Valle Central



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

Esta región posee dos épocas climáticas bien definidas, una época seca comprendida desde el mes de diciembre al mes de abril; y una época lluviosa que se prolonga desde mayo hasta noviembre, con una disminución de la precipitación para el mes de julio, debido al fenómeno de la canícula. Según el IMN y CRRH (2008), la región central posee un promedio de temperatura de 22°C y precipitaciones anuales de 2300 mm en promedio; además de encontrarse dividida en dos subregiones, el Valle Central Occidental y el Valle Central Oriental.

V.II. Materiales y procedimiento

Es importante mencionar que esta investigación se encuentra bajo un enfoque metodológico cuantitativo, debido a que se basa en un orden riguroso; que conlleva una exhaustiva revisión bibliográfica, para posteriormente realizar un planeamiento de hipótesis y comprobación de las mismas bajo métodos estadísticos, y una vez realizadas las mediciones y los análisis tendientes a caracterizar el comportamiento de la humedad, se pretende brindar una serie de conclusiones y recomendaciones sobre los resultados obtenidos.

Para efectos de la elaboración de esta investigación, con el propósito de describir los distintos métodos de interpolación (Kriging e IDW), se procedió a realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de distintos artículos, libros e investigaciones científicas, principalmente de distintas variables climáticas como la temperatura, precipitación y humedad, tomando en cuenta aquellos documentos que brindan una comparación y análisis metodológico sobre esta temática. Cabe resaltar que, la identificación de artículos basados en la comparación de métodos de interpolación será considerada como la base para la implementación de este proyecto.

Es imprescindible denotar que, durante el proceso de revisión bibliográfica, se constató que existe una falta de conocimiento del comportamiento y distribución, así como cual método se desarrolla mejor al interpolar datos de humedad, debido a que una gran cantidad de investigaciones climáticas se enfocan en la temperatura y la precipitación, siendo esta característica como una de las principales dificultades encontradas durante el proceso.

Además, como parte del procedimiento, por medio de una nómina entregada por el IMN, se procedió a realizar un filtro de las estaciones meteorológicas automáticas localizadas en la Región del Valle Central, que posean datos de humedad para el periodo de estudio,

posterior a esto, se realizó un mapeo de las estaciones para conocer la distribución espacial de las mismas sobre el área en estudio, todo esto elaborado con el software de QGIS. Una vez ubicadas las estaciones, se procedió a realizar la solicitud de datos de humedad al IMN, sin embargo; las series de datos de humedad presentan algunos vacíos correspondientes a días en donde no se pudo tomar el dato, debido a, entre otras razones, daños en el instrumento.

A partir de lo anterior, fue posible la aplicación de los métodos de interpolación, por lo cual se procedió a realizar el variograma y semivariograma en el caso de Kriging, con el propósito de conocer la relación entre las variables espaciales y la humedad, además de, empezar a tener una idea de cómo será el ajuste del método de interpolación para el área de interés, dicho gráfico estadístico se realizó mediante el programa de RStudio.

La importancia en los modelos de varianza, reside en que, aportan información sobre el proceso estudiado por medio de su forma y de sus elementos básicos, los cuales determinan varias propiedades de los datos. Entre sus componentes caben destacar: el sill, que indica el valor al que el modelo se aplanar primero (eje y); el rango, que hace referencia a la distancia en donde el modelo se logra aplanar (eje x) y el nugget, que expresa el valor en donde el semivariograma es asintótico al eje y. A partir del semivariograma es posible conocer el comportamiento de la variación espacial de un fenómeno, la humedad para este caso en específico. Seguidamente, se puede implementar un análisis visual de los variogramas muestrales cuyo propósito reside en examinar la existencia de una autocorrelación espacial.

Con lo que respecta al IDW, el procedimiento consiste en la asignación de pesos a los puntos más cercanos a las estaciones meteorológicas según el valor del coeficiente exponencial obtenido, al ser un área específica, ambos métodos son desarrollados mediante el software Surfer. Posteriormente y procediendo a un análisis exhaustivo, es posible determinar, de acuerdo con los valores obtenidos de humedad, si se requiere o no, la aplicación de un coeficiente de potencia mucho mayor.

Para una mayor validación, se pretende implementar la realización de una validación cruzada en Surfer, lo cual consiste en retirar los datos de cada una de las estaciones, para proceder a realizar otra interpolación de estos datos retirados; posteriormente es posible realiza una comparación entre los datos reales de las estaciones y los datos obtenidos por el método de interpolación. A partir de los resultados obtenidos de ambos métodos de

interpolación, se cartografiarán cada uno de ellos para realizar una comparación y seleccionar aquel que presente un mejor detalle. Aunado a ello, se procede a calcular y comparar los coeficientes de determinación, en conjunto con los residuos de los errores del modelo, para conocer cual posee una correlación con mayor adaptación de los datos de humedad y el semivariograma

VI. Análisis de resultados

VI.I. Descripción de métodos de interpolación

El motivo de la interpolación consiste en estimar valores para un atributo por medio de la construcción de una curva o superficie, que permita la unión de los puntos en donde se han realizado distintas mediciones y cuyo valor se conoce (Salazar, 2011). Este es el objetivo principal de la investigación que, a partir de valores reales, se logre obtener un valor de humedad para cada punto dentro del área en estudio, debido a que, si se desea tener valores fuera de ella, se debe realizar el proceso de extrapolación, el cual presenta una idea similar a la interpolación.

Los métodos de interpolación se pueden clasificar en dos grandes categorías, globales y locales; según la FAO (2003), los métodos globales son de mayor utilidad para determinar posibles tendencias en los datos, más que el propio hecho de interpolar, y por lo general utilizan todos los datos disponibles. Los métodos locales, son aquellos que operan dentro de un área pequeña, cubre el dominio geográfico en su totalidad, en donde se ubican los distintos puntos para el cual se requiere obtener un valor interpolado. A raíz de este motivo, se puede definir que la investigación se basa en la aplicación de métodos de interpolación considerados como locales, a razón de que se desea conocer los valores de humedad para puntos específicos dentro de la región climática del Valle Central.

Dentro de los principales métodos de interpolación local, cabe destacar el método de Kriging e IDW, debido a que son los más idóneos e implementados dentro de estudios de variables climáticas (García, 2016). Como mencionan Rojas, Arce, Peña, Boshell y Ayarza, (2010), en su estudio de cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en las zonas alto andinas y de Cundinamarca y Boyaca (Colombia), que el

método de interpolación IDW, es aquel de tipo espacial determinístico, más implementado para la construcción de mapas e interpolación de información espacial.

Por otra parte, Padilla, Sánchez, Quiroz, Garatuza, Watts y Cruz (2008), en el estudio de Interpolación espacial de la precipitación pluvial de la Zona de barlovento y sotavento del Golfo de México, establecen en su investigación la implementación de cuatro métodos de interpolación ideales para registros climáticos, en los cuales cabe destacar el Kriging, IDW, Co-kriging y Thin plate smoothing spline. Tomando en cuenta lo mencionado por dichos autores respecto a las metodologías utilizadas en sus respectivos estudios, se toma la decisión de abordar esta investigación bajo los métodos de Kriging e IDW, con el propósito de conocer, cuál de estas metodologías brinda un mejor ajuste para la elaboración de una climatología sobre la humedad presente en la región climática del Valle Central.

En el caso del método de IDW, su aplicación se sustenta en el concepto de zonalidad climática, esto hace referencia a las similitudes entre las condiciones climáticas de los sitios en donde se requiere la estimación de las variables de humedad, en relación con los datos de observación o provenientes de las EMA más cercanas (Andrade y Moreano, 2013). Por otra parte, el estimado se calcula como la media ponderada entre los valores registrados en las estaciones, las cuales se les asigna un peso de influencia.

Entre las desventajas del uso del método IDW, es que suele generar superficies encerradas alrededor de los datos cuando el coeficiente de potencia es pequeño, dando un menor valor de estimación en los puntos más cercanos, esta limitante también es conocida como "*Bulls-Eyes*"; con el propósito de corregir este problema y de crear superficies más suaves y continuas usando dicho método, ciertos autores recomiendan implementar un coeficiente de potencia de mucho mayor valor (Rojas et al.,2010).

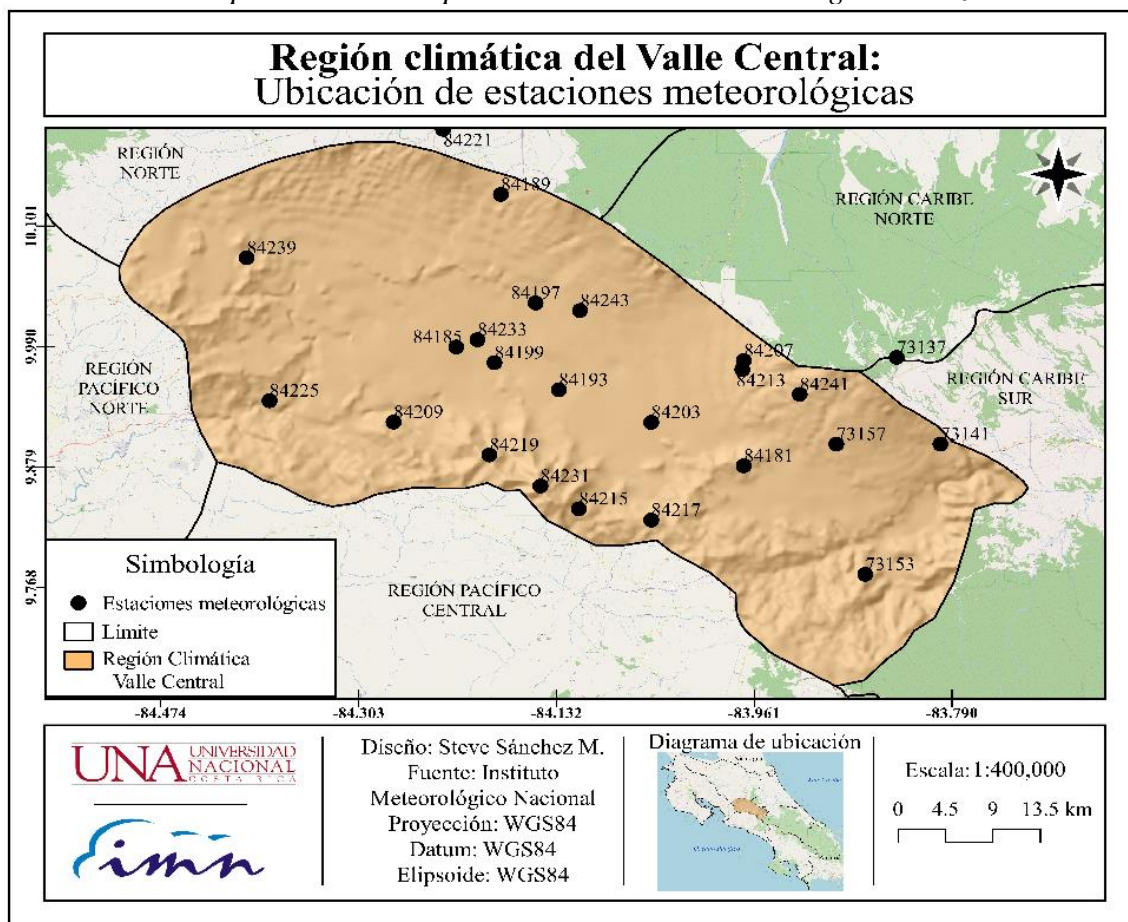
El método de Kriging es conocido como un procedimiento geoestadístico, el cual incorpora el concepto de correlación espacial y temporal de las variables regionales y tiene como partida el concepto de que la media es constante pero desconocida, para la adecuada aplicación del método se debe establecer los pesos que minimicen la varianza y que además logre cumplir con la condición de que la suma de sus pesos sea igual a uno (Andrade y Moreano, 2013). Cabe destacar que este método incorpora el semivariograma, una gráfica que es útil para el análisis del comportamiento de las distintas variables en la zona de estudio.

Entre las limitantes de kriging, se tiene que los valores estimados presentan una menor dispersión que los valores medidos; este método genera una subestimación en los valores altos y una sobreestimación en los valores bajos, lo que en muchas ocasiones genera valores muy distantes de la media (Muñoz, 2015). Muchos autores recomiendan recurrir a distintas técnicas más sofisticadas como las simulaciones, con el propósito de corregir este problema.

VI.II. Aplicación de métodos de interpolación

En el siguiente apartado, se realizará un análisis sobre los resultados obtenidos una vez aplicado cada método de interpolación; cabe resaltar que se realizó un total de seis interpolaciones en distintas escalas temporales, específicamente con datos anuales, datos para el mes de marzo y datos para el mes octubre, durante un periodo de cinco años, cuyo intervalo va desde el año 2015 al 2019.

Figura N°2
Mapa de ubicación para las estaciones meteorológicas utilizadas



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

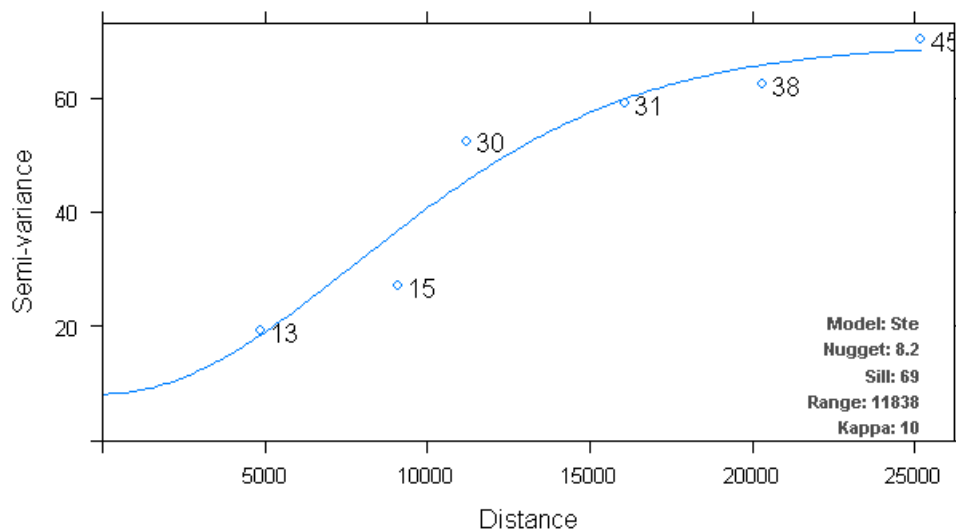
Como se logra apreciar en la Figura N° 2, el área de estudio posee una gran densidad de estaciones meteorológicas que permite darle mayor validación y certeza a los métodos de interpolación; sin embargo, se denota la falta de EMA principalmente al noroeste, oeste y suroeste de la región, igualmente en el sureste y este, pero en menor cantidad. Esta situación genera distintas problemáticas al momento de interpolar, principalmente con el método de Kriging, debido a que quedan áreas con vacíos de información, de ahí la importancia que se cuente con una buena densidad de EMA dentro y fuera del área en estudio.

Con lo que respecta a la selección del periodo de cinco años, durante el 2015 al 2019, se debe a que es en este periodo en el que se obtiene una mayor cantidad de datos provenientes de las EMA, por motivo de que existen datos faltantes en otros meses por causas anteriormente mencionadas, como el daño de instrumentos y demás. Por otra parte, este periodo es seleccionado a razón de que es el más cercano y se pretende, mediante esta investigación, brindar datos de humedad lo más actualizados posibles.

A partir del semivariograma, se proporciona bastante información del comportamiento espacial de una variable; por medio del rango, se obtiene el valor máximo de distancia en donde es posible extrapolar este dato, después de esa distancia se pierde confiabilidad en los resultados, debido a que el rango determina el distanciamiento óptimo del muestreo; por otra parte, el sill, actúa como la máxima semivarianza de los datos, además de que determina el rango y cuando su valor llega a 0, se dice que la correlación desaparece, por lo tanto, más allá de este valor, no hay correlación de las muestras y la varianza continua igual; por último, el nugget hace referencia a los errores de medición o fuentes espaciales de variación a distancias que por lo general son menores que el intervalo de muestreo (Gallardo, 2006).

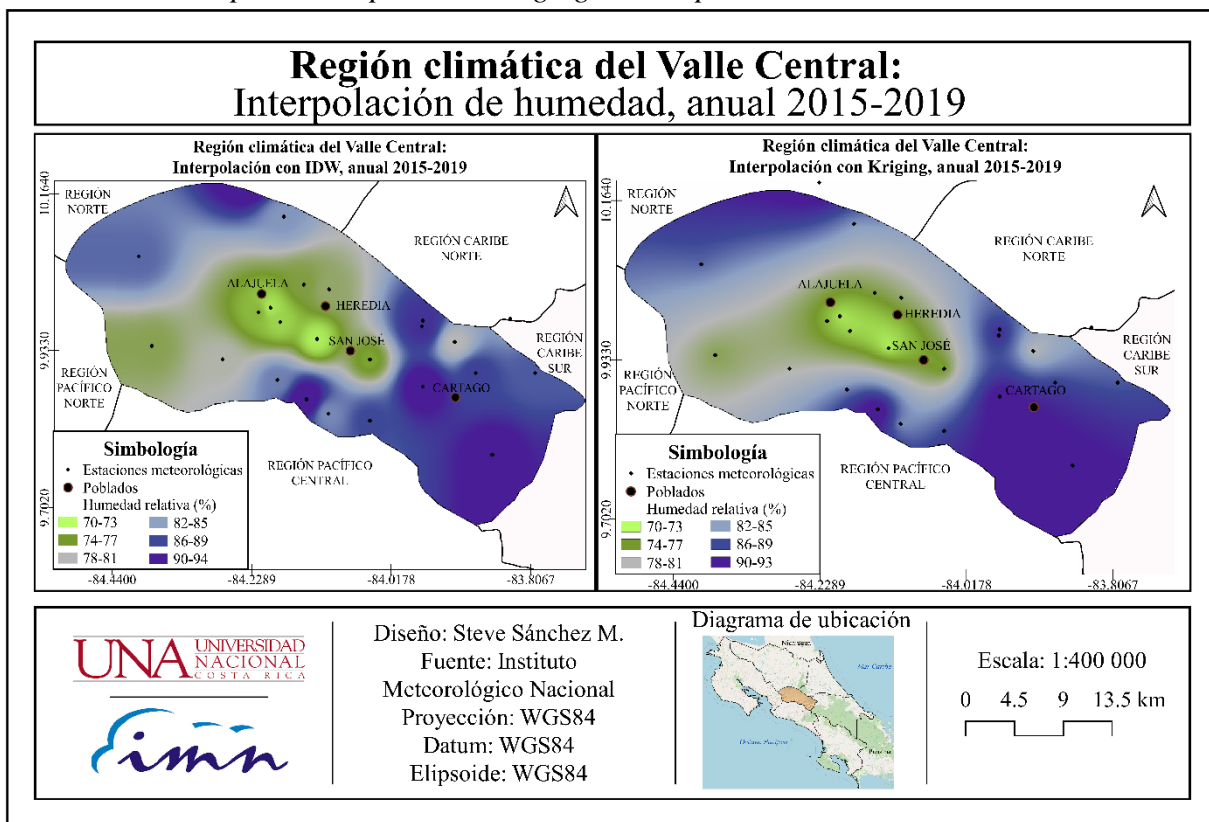
En la Figura N°3, se presenta el semivariograma experimental para los datos de humedad anual durante el periodo en estudio; el cual establece que el rango equivale a 11 838 metros, después de esta distancia se pierde confiabilidad a la hora de extrapolar el dato, por otra parte, el sill corresponde a un valor de 69, a partir de este dato, la correlación desaparece y con respecto al nugget, presenta un valor de 8.2, lo cual hace referencia a los errores de la medición

Figura N°3
Variograma experimental y modelo de ajuste, datos anuales
Experimental variogram and fitted variogram model



Fuente: Elaboración propia

Figura N°4
Mapa de interpolación Kriging e IDW, para datos de humedad anual

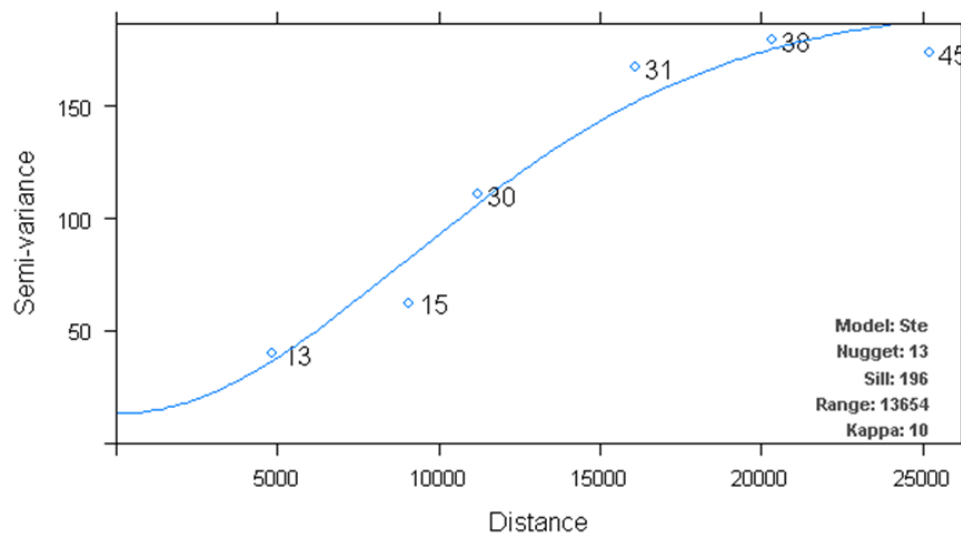


Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

En la Figura N°4, se muestra el resultado obtenido por los métodos de interpolación, Kriging e IDW, para los datos de humedad anual, entre los años del 2015 al 2019, entre las diferencias se puede percibir que en el caso de Kriging, genera los mayores resultados de humedad, al sureste y noroeste del área en estudio, mientras que el IDW, en el sector noroeste presenta valores intermedios y altos, además de que es posible observar al oeste y al norte de la ciudad de Heredia, una mayor concentración de valores entre 74% a 77% de humedad.

Los mayores valores de humedad relativa, se presentan al norte y sureste de la región climática, esto a razón de la cercanía con distintos sistemas montañosos, Coen (1991) afirma que el régimen y la distribución de las precipitaciones está relacionada con la topografía, en donde las lluvias aumentan conforme se eleva la altitud, por ende, la humedad se ve influida por la precipitación.

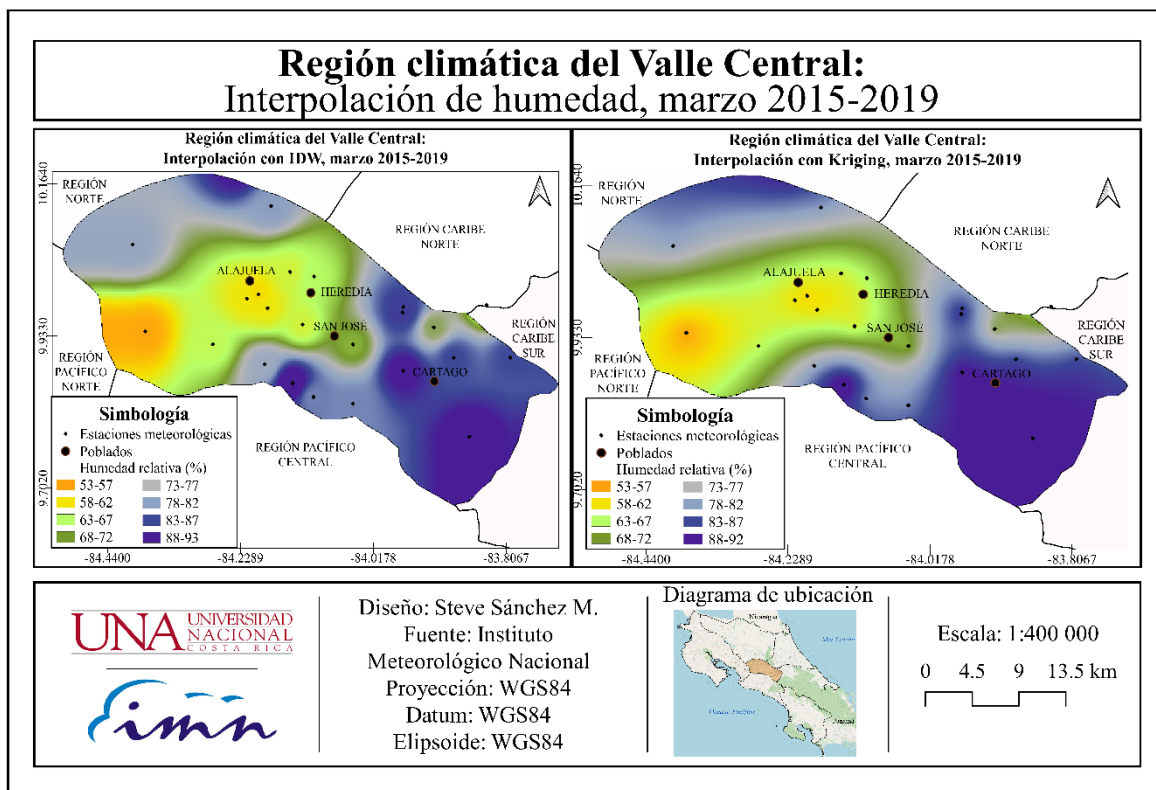
Figura N°5
Variograma experimental y modelo de ajuste, datos marzo
Experimental variogram and fitted variogram model



Fuente: Elaboración propia

Para el caso específico de la Figura N°5, se muestra el semivariograma para los datos de humedad en el mes de marzo del 2015 al 2019, en cual se presenta un rango de 13 654 metros, es a partir de esta distancia que se pierde la confiabilidad para extrapolar los datos provenientes a un EMA determinada; por otra parte, el sill tiene un valor a 196, lo que significa que a partir de este valor, la varianza se mantiene en 0 y desaparece la correlación entre las muestras, mientras que el nugget da un valor del error en la estimación igual a 13.

Figura N°6
Mapa de interpolación Kriging e IDW, para datos de humedad en marzo

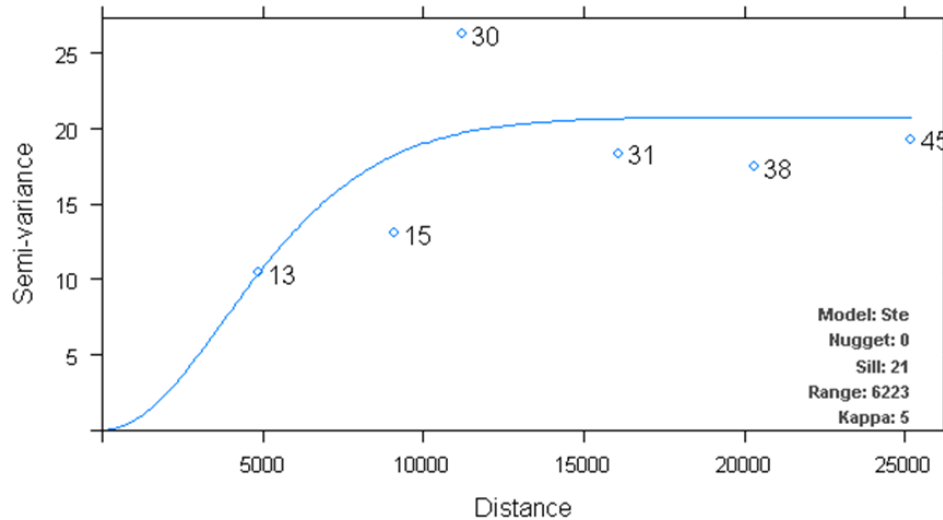


Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

A partir de la Figuran N°6, es posible observar la interpolación generada sobre los datos de humedad para el mes de marzo, en donde se tiene la mayor diferencia en el sector oeste del área en estudio, debido a que con el método de IDW, existe una mayor concentración de valores entre el 53% al 57% de humedad relativa, mientras que en Kriging es mucho menor la densidad de datos dentro de este rango. Por otra parte, en el sector noroeste se nota un cambio entre los métodos, debido a que Kriging da valores más altos de humedad que el IDW, al igual que el norte de la ciudad de Heredia.

Específicamente, durante este mes se obtienen los valores mínimos más bajos de humedad relativa durante el periodo analizado, por el motivo de que durante este periodo prevalece la época seca dentro del régimen climático del Pacífico y precisamente el mes de marzo, es el más seco y cálido del año (IMN, 2013). Tomando en cuenta lo anterior, se puede comprender porque durante este mes la humedad presenta este comportamiento, además de mejorar la explicación del porque el sector oeste de la región climática presenta mayor tendencia de datos menores al 60%.

Figura N°7
Variograma experimental y modelo de ajuste, datos octubre
Experimental variogram and fitted variogram model

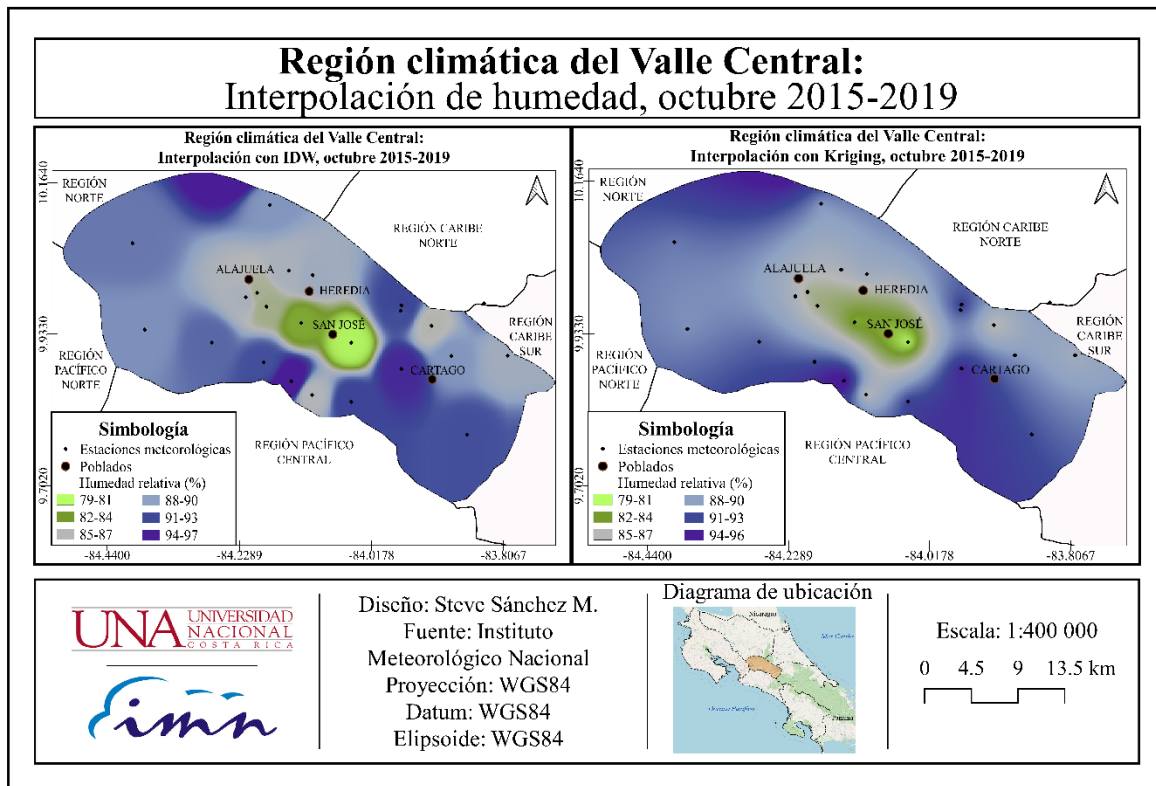


Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°7, se muestra el semivariograma para los datos de humedad en el mes de octubre durante el periodo en estudio, cuyo sill da un valor de 21, lo cual significa que a partir de ese valor, la correlación entre muestras es inexistente y presenta una varianza de valor 0; con lo que respecta al nugget, se tiene un 0, dejando en evidencia una mínima en la cantidad de errores provenientes a las medición y por último se presenta el rango, cuyo valor es de 62 223 m, lo que significa que a partir de esta distancia, ya no resulta confiable extrapolar los datos provenientes de las EMA.

Figura N°8

Mapa de interpolación Kriging e IDW, para datos de humedad en octubre



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

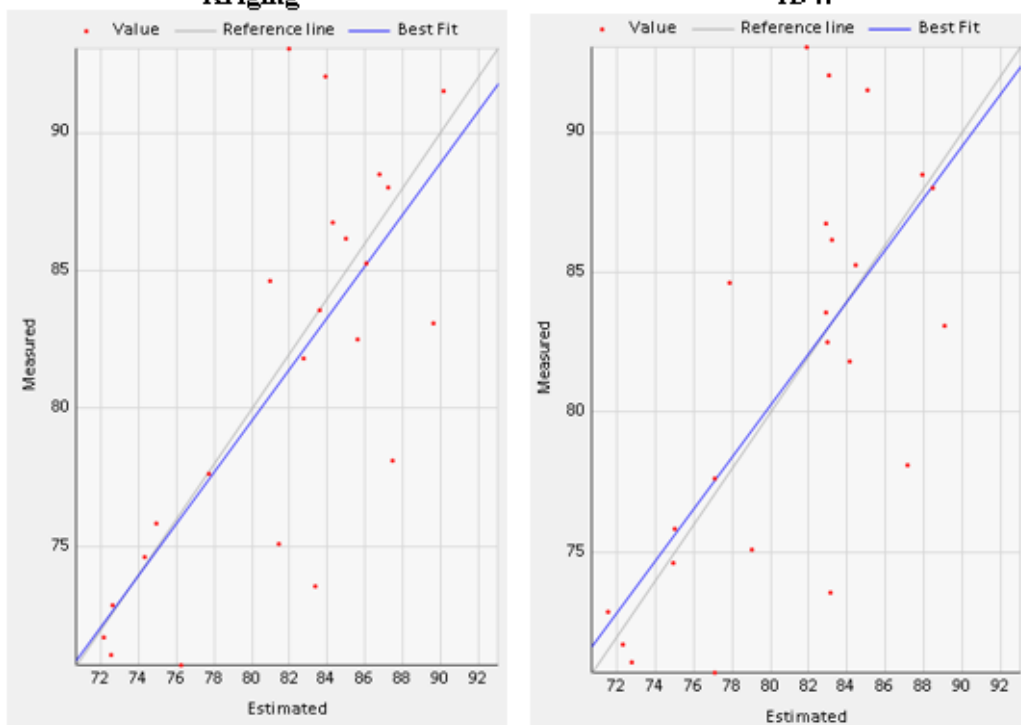
Por último, en la Figura N°8, se obtiene el resultado de las interpolaciones para la humedad relativa en el mes de octubre durante los años 2015 al 2019, entre las principales diferencias observadas, se identifica una diferencia importante en el sector sur de la ciudad de Alajuela, debido a que con Kriging se tiene valores entre los 91% y 93% de humedad, mientras que con IDW, los valores van desde 88% a 93% de humedad. Además, en el Kriging se observa una mayor densidad de registros cercanos a 94% de humedad en las zonas aledañas a Cartago y al noroeste de la región, mientras que con el IDW, se obtuvo en estas mismas áreas, valores mucho menores de humedad, como al norte de Cartago.

Durante este periodo, es posible evidenciar los registros más elevados de humedad en la investigación, esto debido a que octubre es uno de los meses más lluviosos, principalmente por la influencia de sistemas ciclónicos, los vientos monzónicos y brisas marinas, que son responsables de lluvias intensas cuando unen su efecto a las barreras orográficas, lo cual afecta directamente los valores de humedad presentes en un sitio y en un momento determinado (Muñoz, Fernández, Gutiérrez y Zárate, 2002).

VI.III. Validación de los métodos de interpolación

En este apartado, se analizará la confiabilidad y el ajuste que presentan los métodos de interpolación en los registros de humedad; con el propósito de realizar este proceso, se implementa la validación cruzada de los datos, que como anteriormente se menciona, esta metodología consiste en retirar los registros completos de cada una de las estaciones, para posteriormente realizar una interpolación de dichos registros retirados, con el propósito de comparar los datos reales con sus respectivas interpolaciones (Salgado y Largo, 2016).

Figura N°9
Validación cruzada para Kriging e IDW, para datos de humedad anual



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

Por ende, en la Figura N°9 se presenta los valores reales (eje y) o medidos por las EMA y los valores estimados (eje x) generados por el método de interpolación para los datos anuales de humedad. Cabe resaltar que, entre más cercano sea el valor de los datos estimados a los valores reales, se puede decir que el método es perfecto y genera una buena calidad de los resultados, mientras que, si los datos estimados son muy distantes al valor real, se concluye que el método es ineficiente y que genera datos no tan confiables. Para dicha figura, es posible observar que los datos estimados son muy cercanos a los reales en ambos métodos de interpolación, como ejemplo se toma el valor medido de 74, cuyo estimado es aproximado

a 75 - 76 dependiendo de MI, además de, que la línea de mejor ajuste se encuentra muy pareja con la línea de referencia.

Tabla #1. Valores del coeficiente de determinación para los MI

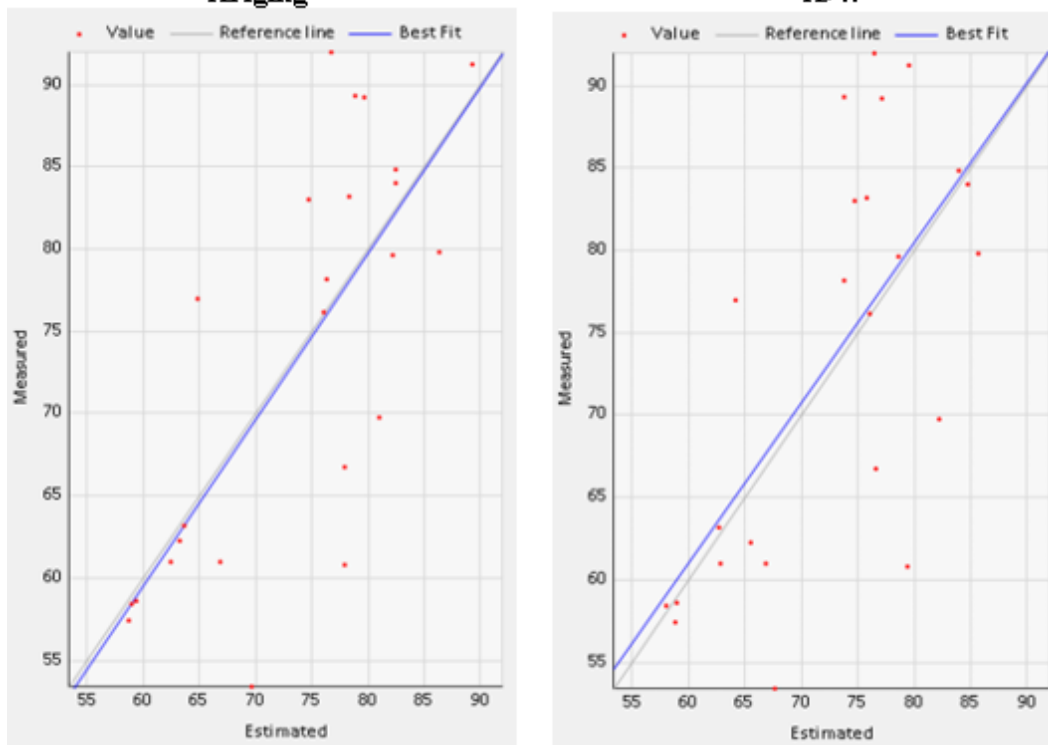
Valor de R ² en los MI		
Datos	Kriging	IDW
Anual	0.999000	0.999997
Marzo	0.999321	0.999997
Octubre	0.998040	0.999986

Fuente: Elaboración propia

Con el propósito de obtener una mayor confiabilidad en la interpolación, se procede a calcular el coeficiente de determinación o R², a partir de este indicador numérico, es posible determinar que tan bien se ajusta la cuadrícula a los datos originales; el valor del R² debe estar entre 0 y 1, cuando su valor es 0, entonces el modelo no se ajustaría a ninguno de los datos, mientras que, si su valor es igual a 1, se puede concluir que el modelo genera datos muy exactos al momento de interpolar (Blakelee, 2015). En la Tabla #1, se puede observar que, para los datos anuales, Kriging e IDW, presentan registros prácticamente exactos debido a sus R² son muy cercanos a 1.

Figura N°10

Validación cruzada para Kriging e IDW, para datos de humedad en marzo

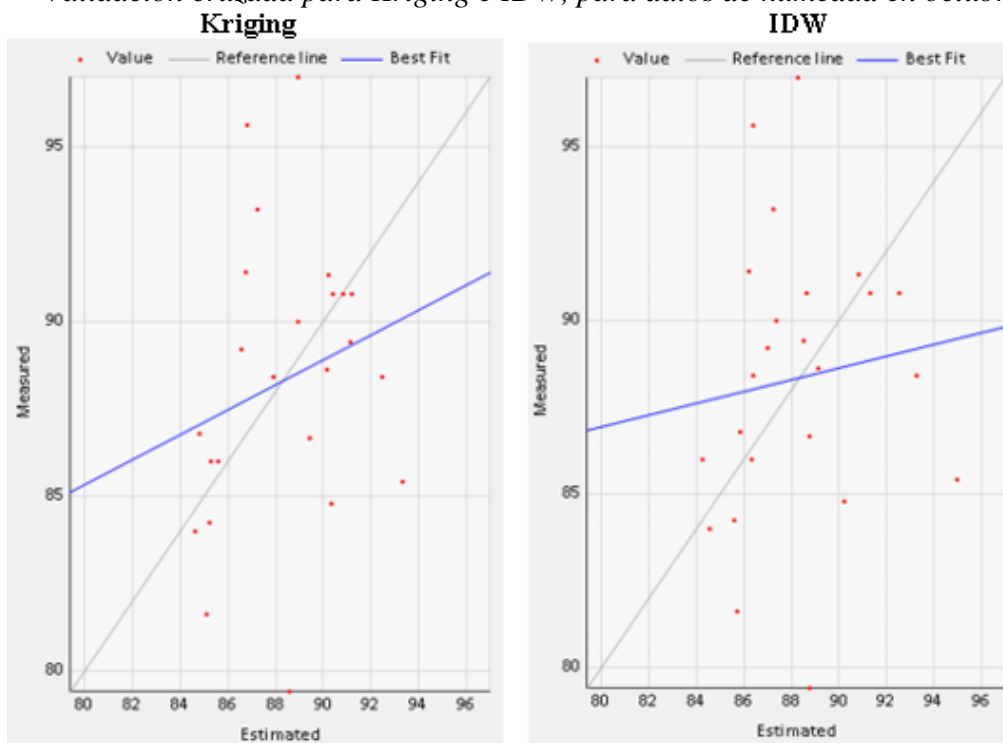


Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

En lo que respecta la Figura N°10, se muestra la validación cruzada de los MI para los datos de humedad en el mes de marzo durante el periodo de estudio, en el cual se logra apreciar un comportamiento similar al de los datos anual; los valores estimados son muy cercanos a los valores reales provenientes de las EMA, tanto para Kriging como para IDW, además de que la línea del óptimo ajuste, es prácticamente igual que a la línea de referencia. Esta situación se confirma con el cálculo del coeficiente de determinación (Tabla #1) en donde refleja valores muy cercanos a 1 y por ende se dice que ambos modelos generan datos de humedad muy precisos.

Figura N°11

Validación cruzada para Kriging e IDW, para datos de humedad en octubre



Fuente: Elaboración propia con base en datos del IMN

Por último, en la Figura N°11 se muestra la validación cruzada de Kriging e IDW para los datos de humedad en el mes de octubre durante el periodo de estudio, en el cual se logra apreciar que los valores estimados son más distantes a los datos medidos en las EMA, esto también se ve reflejado en la línea del óptimo ajuste, debido a que es dispareja con respecto a la línea de referencia; sin embargo, al revisar el R^2 (Tabla #1), se tienen valores de 0.9980 para Kriging y 0.9999 para IDW, lo cual hace referencia que a pesar de presentar valores distantes, los modelos logran generar datos de humedad precisos.

VII. Conclusiones y recomendaciones

A modo de conclusión, cabe destacar las diferentes metodologías implementadas para estimaciones de variables climáticas, en donde los métodos más utilizados según la literatura son el Kriging y la Ponderación de Distancia Inversa (IDW), principalmente en elementos como la temperatura y la precipitación, sin embargo, dentro de las revisiones bibliográficas, no existe ningún artículo que haga referencia a la aplicación de dichos métodos a la humedad relativa.

Otro aspecto importante por recalcar, es la similitud en los resultados que brinda Kriging e IDW, debido a que, dentro de los rangos de humedad relativa, no existe una brecha o diferencia significativa entre los datos interpolados; las únicas disparidades son a nivel visual dentro de la cartografía; sin embargo, estas tampoco son muy distantes o muy desiguales entre cada método.

Específicamente, en los valores de humedad obtenidos se presenta que, para la interpolación anual, de marzo y de octubre, se genera los rangos de 70% a 94%, de 53% a 92% y de 74% a 97% respectivamente para ambos métodos aplicados. Cabe destacar que, los valores más bajos de humedad se presentan en marzo, específicamente en el sector suroeste de la región, mientras que los valores más altos de humedad se obtienen en el mes de octubre; en donde el área más húmeda de la región se encuentra al sur de la ciudad de Cartago, debido a la alta presencia de sistemas montañosos.

Es importante recalcar que, ambos métodos de interpolación presentaron una adecuada validación y un alto coeficiente de determinación, lo cual expresa que tanto el método de Kriging como el método de IDW, son sumamente factibles dentro de la variable de humedad y que por lo general se logran obtener datos confiables y certeros, dicha situación permite aplicar estas metodologías dentro de otras áreas geográficas, en las cuales se obtendrán resultados precisos.

Entre las recomendaciones es posible mencionar que, para la generación de las interpolaciones, especialmente para el caso de Kriging, se hace necesario constar con una mayor cantidad y densidad de estaciones meteorológicas, no solo dentro del área de estudio, sino fuera de ella, con el propósito de obtener una mayor cobertura espacial, debido a que se pueden generar espacios vacíos o faltantes de información, situación que sin duda alguna

perjudica en los resultados obtenidos a lo largo del área en estudio, además de incluir una mayor escala temporal en el estudio para obtención de una climatología más robusta.

Por otra parte, los estudios de interpolación de variables climáticas, se pueden realizar también en una escala espacial de menor tamaño, con el propósito de obtener resultados mucho más detallados y precisos en un lugar determinado, además agiliza los procesos de espera en la generación de interpolaciones y se puede complementar con otro tipo de información como el caso de pendientes, actividades económicas, e incluso otras variables climáticas, que permitan un análisis más integrado enfocado desde las Ciencias Geográficas.

Finalmente, es necesario mencionar la posibilidad de implementar otros métodos de interpolación, que permita generar mayor criterio y comparación entre metodologías, con el propósito de conocer sus similitudes, diferencias, ventajas y desventajas, para la implementación de nuevas metodologías que generan resultados certeros y precisos.

VII. Referencias bibliográficas

Andrade, L. y Moreano, R. (2013). Sistema de Información para la Interpolación de datos de Temperatura y de Precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica*, 32 (1), 70-75.

Blakelee, M. (2015). Verificación numérica de los resultados de la cuadrícula a través del software de gráficos de Surfer. *Golden Software Blog*. <https://www.goldensoftware.com/blog/numerically-verifying-grid-results-through-surfer-s-graphing-software>

Coen, E. (1991). Capítulo 4: El clima. *Historia Natural de Costa Rica*. <https://www.acguanacaste.ac.cr/historia-natural-costa-rica/Historia-natural-de-Costa-Rica-Editado-por-Daniel-H-Janzen-1991.pdf>

Gallardo, A. (2006). Geoestadística. *Revista Ecosistemas Científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 3 (6), 1-11.

García, S. (2016). Generalización de variables medioambientales mediante interpolación SIG [tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. http://oa.upm.es/39397/1/SARA_GARCIA_CONDADO.pdf

Instituto Meteorológico Nacional [IMN] y Comité Regional de Recursos Hidráulicos [CRRH]. (2008). *El clima, su variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. http://users.clas.ufl.edu/prwaylen/geo3280articles/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf

Instituto Meteorológico Nacional [IMN] (2013). *El clima y las regiones climáticas de Costa Rica*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/clima-regiones-climat.pdf/cb3b55c3-f358-495a-b66c-90e677e35f57>

Muñoz, L. (2015). Uso de kriging universal en la simulación condicional de leyes [tesis de maestría, Universidad de Chile]. <https://core.ac.uk/download/pdf/11055977.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2003). Manual Curso Análisis Espacial ArcView. *Ordenamiento Territorial Rural sostenible*, 8 (2), 20-26.

Padilla G., Sánchez I., Quiroz R., Garatuza J., Watts C., Cruz I. (2008). *Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del golfo de México*. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945029009.pdf>.

Rojas, E.; Arce, B.; Peña, A.; Boshell, F. y Ayarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11 (2), 173-182.

Salazar, A. (2011). Capítulo #4. Interpolación. *Introducción a la Estadística*. <http://www.prof.uniandes.edu.co/~gprieto/classes/compufis/interpolacion.pdf>

Solano, J. y Villalobos, R. (2015). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+clim%C3%A1tica+de+Costa+Rica>

Useros, J. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la Real Academia De Medicina y Cirugía de Valladolid*, 5, 71-98.

Vargas, G. (2006). *Geografía de Costa Rica*. Editorial Universidad Nacional a Distancia.