



Técnicas de Muestreo Espacial: Aplicaciones e Implementación en R

Teoría de Muestreo MM535

J. Moisés Arias

Abril, 2024

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Contenidos

Introducción

Objetivos

Breve reseña histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción Espacial: Kriging

Función de Covarianza Espacial

Predicción Lineal: Kriging

Variograma

Predicción del valor sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Introducción

Las poblaciones cuyas observaciones varían según su distribución geográfica ameritan una colección de técnicas especiales para su análisis.

Dichas técnicas son de gran importancia en geología, meteorología, ecología y ciencias sociales. Se conocen como muestreo espacial.

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Objetivos

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

► Objetivo General

Ampliar los conocimientos sobre las técnicas de muestreo de una población distribuida en una región geográfica.

► Objetivos específicos

1. Integrar los modelos de muestreo básicos en el contexto de una muestra espacialmente variable.
2. Conocer las aplicaciones del muestreo espacial.
3. Implementar los métodos de muestreo espacial en R.

Breve reseña histórica

La aplicación de la estadística para recoger y analizar información sobre regiones geográficas ha cobrado mayor importancia en la actualidad.

La geoestadística fue desarrollada para analizar datos geológicos distribuidos en el espacio de un cuerpo mineral. Sus principales proponentes, habrían sido Matheron, Whittle y Gandin.

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Utilidad y aplicaciones

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Los métodos de muestreo espacial se aplican a:

1. el manejo de recursos agrícolas y forestales.
2. predicción de reservas minerales y fósiles.
3. monitoreo de especímenes en una región.
4. rastreo de la propagación de una infección en una localidad.

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Muestreo espacial

En el muestreo espacial se contemplan cantidades ambientales, ecológicas o geológicas como una variable aleatoria y_t cuyos valores son observaciones de un proceso estocástico

$$\{y_t : t \in D \subset \mathbb{R}^d\} \quad (1)$$

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Generalidades del kriging

- ▶ Los modelos muestrales tradicionales son inadecuados.
- ▶ Kriging no realiza estimaciones, sino predicciones.
- ▶ El fin del kriging es predecir una variable aleatoria y_0 en una región desconocida.
- ▶ El predictor de kriging es insesgado y de varianza mínima.

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Tipos de kriging

- ▶ Kriging simple: se conoce μ_i y $Cov(y_i, y_j)$.
- ▶ Kriging ordinario: se conoce μ_i , se estima $Cov(y_i, y_j)$.
- ▶ Kriging universal: se estima μ_i , se conoce $Cov(y_i, y_j)$.

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Modelo genérico

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

$$y_t = \mu_t + \epsilon_t \quad (2)$$

$$\epsilon_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (3)$$

$$\text{Cov}(\epsilon_t, \epsilon'_t) = C(h) \quad (4)$$

donde:

- ▶ y_t es la variable regionalizada en la ubicación t
- ▶ μ_t es la media en la ubicación t
- ▶ ϵ_t es el residual en la ubicación t
- ▶ La función $C(h)$ es la covarianza de los residuales.

Función de Covarianza Espacial

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

La medida de relación entre las variables y_1 y y_2 asociadas a los sitios t_1 y t_2 es la covarianza, ec. 5:

$$\text{Cov}(y_1, y_2) = E[(y_1 - E(y_1))(y_2 - E(y_2))] \quad (5)$$

Cuando la covarianza entre dos sitios depende solo de sus posiciones relativas, se llama *función de covarianza* $C(h)$.

$$C(h) = \text{Cov}(y_{t+h}, y_t) \quad (6)$$

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Clasificación del Kriging según la covarianza

Cuando la covarianza depende solo de la distancia, $d = \|h\|$, se dice que el proceso es *isotrópico*.

El proceso se llama *estrictamente estacionario* si la distribución de observaciones $\{y_t\}_{t=t_1}^{t_n}$ es la misma que $\{y_{t+h}\}_{t=t_1}^{t_n}$.

Un proceso se llama *estacionario de segundo orden* cuando $\mu_t = \mu$, pero $C = C(h)$.

Un proceso se llama *débilmente estacionario* cuando $\mu_t = \mu$, pero $C = C(d)$.

Predicción Lineal: Kriging

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Utilizaremos la notación siguiente

- ▶ y -valor observado en el i ésimo sitio de la muestra de tamaño n : y_i
- ▶ i ésimo sitio en la muestra de n sitios: t_i
- ▶ covarianza entre y -valores de un sitio i y un sitio j :
 $Cov(y_i, y_j) = c_{ij}$
- ▶ varianza del y -valor en el sitio t_i : $Var(y_i) = c_{ii}$

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Kriging como problema de optimización

Minimizar

$$MSPE = E (y_0 - \hat{y}_0)^2 \quad (7)$$

sujeto a:

$$E (\hat{y}_0) = E (y_0) \quad (8)$$

Este planteamiento requiere conocer la distribución de probabilidad condicional de y_0 dados y_1, \dots, y_n .

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Kriging en multiplicadores de Lagrange

Dado

$$\hat{y}_0 = \sum_{i=1}^n a_i y_i \quad (9)$$

hallar valores $\{a_i\}_{i=1}^n$ que minimicen ec. 7 sujeto a ec. 8.

$$MSPE = E(y_0 - \hat{y}_0)^2$$

sujeto a:

$$E(\hat{y}_0) = E(y_0) = c_{00} - \sum_{i=1}^n a_i c_{i0} - m$$

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Kriging en forma matricial

Resolver:

$$\mathbf{f} = \mathbf{G}^{-1}\mathbf{h} \quad (10)$$

donde

$$\mathbf{f} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \\ m \end{pmatrix}, \quad \mathbf{h} = \begin{pmatrix} c_{10} \\ c_{20} \\ \vdots \\ c_{n0} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} & 1 \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

El método de *kriging ordinario* consiste en estimar los pesos de *kriging* $\{a_i\}_{i=1}^n$ y el multiplicador de Lagrange m .

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Estimación de la covarianza

G se estima desde los datos provenientes de la misma investigación o de una base de datos de estudios previos. Para un proceso estacionario e isotrópico la covarianza en sitios a d unidades de distancia puede estimarse con

$$\hat{C}(d) = \frac{1}{n_d} \sum (y_{t_i} - \bar{y})(y_{t_j} - \bar{y}) \quad (11)$$

Luego se aplica mínimos cuadrados no lineal para obtener una función de covarianza y estimar la covarianza a cualquier distancia.

Variograma

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

El variograma se define como:

$$\text{Var}[y_t - y_{t+h}] = 2\gamma(h) \quad (12)$$

donde $\gamma(h)$ se conoce como semivariograma.

En el caso de un proceso estacionario de segundo orden, la función de covarianza y el variograma contienen información equivalente:

$$\gamma(h) = c(0) - c(h) \quad (13)$$

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Estimación del variograma

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Un método relativamente simple de estimar el variograma en función de la distancia entre dos sitios está dado por

$$2\hat{\gamma}(d) = \frac{1}{n_d} \sum (y_{t_i} - y_{t_j})^2 \quad (14)$$

Este acercamiento es recomendado en tanto que ec. 14 es insesgado, pero 11 no lo es.

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Kriging en función del variograma

El objetivo es predecir el valor de la variable de interés en una región nueva usando las n observaciones de y -valores de manera insesgada:

$$E(\hat{y}_0) = E(y_0) \quad (15)$$

minimizando el $MSPE$

$$MSPE = E(y_0 - \hat{y}_0)^2 \quad (16)$$

Escribiendo el estimador lineal como

$$\hat{y}_0 = \sum_{i=1}^n a_i y_i \quad (17)$$

Kriging por variograma en forma matricial

Se quiere resolver:

$$a = \Gamma^{-1} \gamma \quad (18)$$

donde

$$a = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \\ m^* \end{pmatrix}, \quad \gamma = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ \vdots \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \Gamma = \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \cdots & \gamma_{1n} & 1 \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \cdots & \gamma_{2n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \gamma_{n2} & \cdots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Dentro de este contexto el MSPE es de la siguiente forma

$$MSPE = E (y_0 - \hat{y}_0)^2 = \sum_{i=1}^n a_i \gamma_{i0} + m^* \quad (19)$$

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Ajustes válidos para un variograma

El modelo esférico del semivariograma:

1. *Nugget* c_0 : es la intersección del variograma con el eje y .
2. *Partial sill* c_1 : es la diferencia entre la máxima semivarianza y el *nugget*.
3. *Range* ϕ : la distancia a la cual la semivarianza alcanza su máximo valor.

Bajo estos criterios

$$\gamma(d) = \begin{cases} 0 & \text{si } d = 0 \\ c_0 + c_1 \left[1 - \frac{3}{2} \left(\frac{d}{\phi} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{d}{\phi} \right)^3 \right] & \text{si } 0 < d \leq \phi \\ c_0 + c_1 & \text{si } d > \phi \end{cases} \quad (20)$$

Ajustes válidos para un variograma

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

El semivariograma exponencial presenta la siguiente forma

$$\gamma(d) = \begin{cases} 0 & \text{si } d = 0 \\ c_0 + c_1 \exp(-d/\phi) & \text{si } d > 0 \end{cases} \quad (21)$$

Un caso particular es:

$$\gamma(d) = c_1(1 - \exp(-d/\phi))$$

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Predicción del valor sobre una región

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Si A es una región de estudio particionada en N sitios, se define la predicción y_0 como

$$y_0 = \frac{1}{|A|} \int_A y_t dt \quad (22)$$

La semivarianza media entre el i ésimo sitio y la región A está dado por:

$$\gamma_{i0} = \frac{1}{|A|} \int_A \gamma(y_i - y_t) dt \quad (23)$$

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Predicción del valor sobre una región

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

EL *MSPE* se obtiene mediante

$$E(y_0 - \hat{y}_0)^2 = \sum_{i=1}^n a_i \gamma_{i0} + m^* - \gamma_{00} \quad (24)$$

done la semivarianza media γ_{00} está dada por

$$\gamma_{00} = \frac{1}{N^2} \int_A \int_A \gamma(t - \nu) dt d\nu \quad (25)$$

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

El MSPE provee una vía para elegir un tamaño muestral espacial n idóneo para una predicción insesgada aceptable.

$$E(y_0 - \hat{y}_0)^2 = c_0 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j c_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n a_i c_{i0}$$

se aprecia que las mejores predicciones resultan de las n regiones muestra que tienen la menor covarianza entre sí, pero que poseen la mayor covarianza con el valor que se quiere predecir.

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma
Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Conclusiones I

- ▶ La estadística espacial abre un sinfín de oportunidades para la comprensión de la naturaleza y la dimensión de las actividades humanas en el contexto del cambio climático y la explotación de recursos naturales.
- ▶ Conjuntamente, la técnica de kriging combina el interés de la estadística por encontrar patrones en el caos y la impredecibilidad de la naturaleza con las técnicas de optimización propias de la ingeniería matemática.

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Conclusiones II

- ▶ La implementación del muestreo estadístico puede concretarse con una aplicación directa de los modelos teóricos desarrollados y documentados en la literatura académica, pero también se puede conseguir a través de paquetes computacionales especializados para el análisis de datos geoespaciales.
- ▶ Una complementación interesante al uso de R para estudios geográficos, a mí parecer, es el de las bases de datos geoposicionales implementadas como gestores de bases de datos como PostgreSQL con el paquete PostGIS.

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Bibliografía I

- Arlinghaus, S. L. (Ed.). (1996). *Practical handbook of spatial statistics* (1st ed.). CRC Press.
- Benedetti, R., Piersimoni, F., y Postiglione, P. (Eds.). (2015). *Sampling spatial units for agricultura surveys* (1st ed.). Springer.
- Brus, D. J. (2022). *Spatial sampling with r* (1st ed.). CRC Press.
- Cressie, N. (1986, Septiembre). Kriging nonstationary data. *Journal of the American Statistical Association*, 81(395), 625 - 634. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1986.10478315>
- Cressie, N. (1989, Noviembre). Geostatistics. *The American Statistician*, 43(4), 197 - 202. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00031305.1989.10475658>

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Bibliografía II

- Grondona, M. O., y Cressie, N. (1991, Noviembre). Using spatial considerations in the analysis of experiments. *Technometrics*, 33(4), 381 - 392. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1991.10484867>
- Hohn, M. E., Liebhold, A. M., y Gribko, L. (1993, Octubre). Geostatistical model for forecasting spatial dynamics of defoliation caused by the gypsy moth (lepidoptera: Lymantriidae). *Environmental Entomology*, 22(5), 1066 - 1075. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1991.10484867>
- Thadani, S. G., Alabert, F., y Journel, A. G. (1987). An integrated geostatistical/pattern recognition technique for characterization of reservoir spatial variability. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 372 - 375. doi: <http://dx.doi.org/10.1190/1.1892098>

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción
Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía

Bibliografía III

Thompson, S. K. (2012). *Sampling* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc.

Técnicas de
Muestreo
Espacial:
Aplicaciones e
Implementación
en R

Facultad de
Ciencias - UNAH

Introducción

Objetivos

Breve reseña
histórica

Utilidad y aplicaciones

Predicción

Espacial: Kriging

Función de Covarianza
Espacial

Predicción Lineal:
Kriging

Variograma

Predicción del valor
sobre una región

Diseño espacial

Conclusiones

Bibliografía