



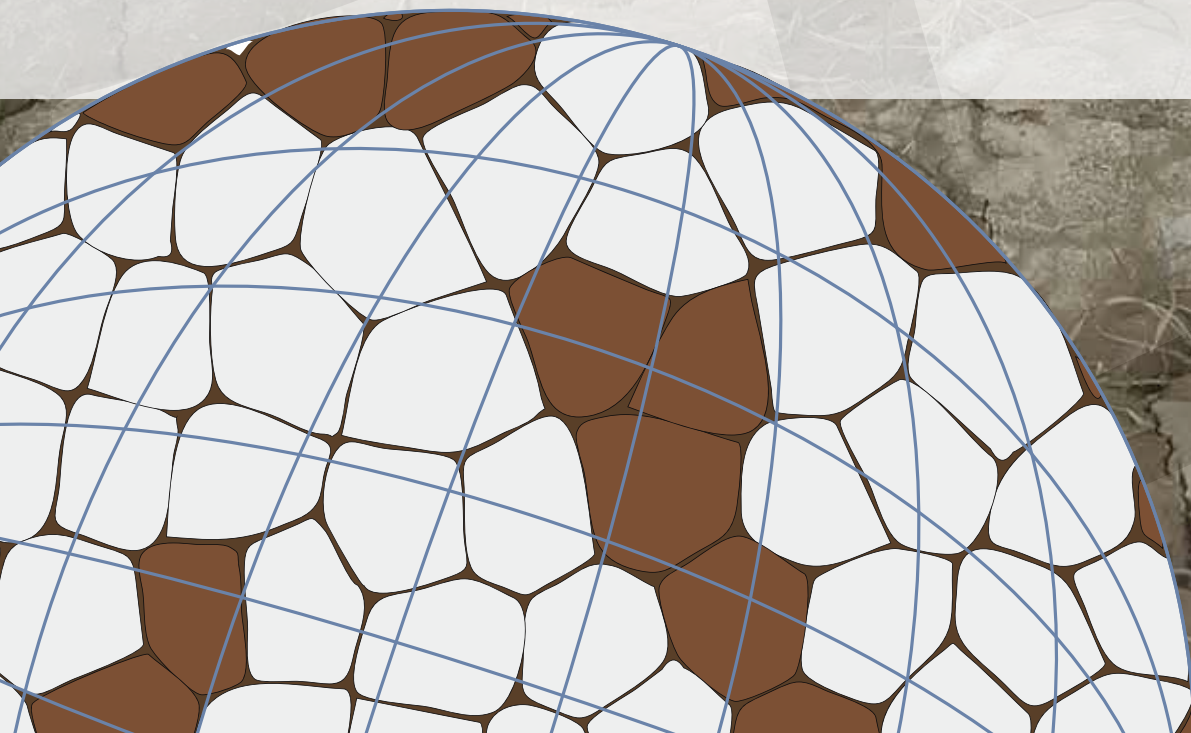
Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Mapeo de suelos afectados por salinidad

Mapa GSS

LECCIÓN 4

Modelo espacial de suelos afectados por salinidad



Mapeo de suelos afectados por salinidad Mapa GSS

LECCIÓN 4 Modelado espacial de suelos afectados por salinidad

Christian Thine Omuto
Ronald Vargas
Kostiantyn Viatkin
Yusuf Yigini

Cita recomendada

Omuto CT, Vargas R, Viatkin K, Yigini Y. 2021. *Mapeo de suelos afectados por salinidad: Lección 4- Modelado espacial de suelos afectados por salinidad*. Roma, FAO.

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO.

Primera edición: 2020 (versión en inglés)
© FAO, 2021



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: “La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado”.

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización ("<http://www.fao.org/publications/es>") y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Fotografías de las cubiertas anterior y posterior: ©FAO/Christian Thine Omuto

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen ejecutivo..... | iv |
| 1 Introducción..... | 1 |
| 1.1 Perspectiva | 1 |
| 1.2 Objetivo | 1 |
| 1.3 Resultados esperados | 1 |
| 2 Actividades..... | 2 |
| 2.1 Clasificación de suelos afectados por salinidad | 2 |
| 2.2 Evaluación de la precisión | 4 |
| 2.3 Evaluación de la incertidumbre | 5 |
| 3 Recursos | 10 |
| 4 Resultados | 11 |

Figuras

| | |
|---|---|
| Figura 1: Mapas de suelos afectados por salinidad superficial (0-30 cm) de suelos | 2 |
| Figura 2: Mapa de intensidad de salinidad superficial (0-30 cm) del suelo..... | 3 |
| Figura 3: Precisión de la clasificación de suelos afectados por salinidad | 5 |
| Figura 4: Funciones de correlación para CE (0-30 cm)..... | 6 |
| Figura 5: Procesos simulados de indicadores normalizados del suelo | 8 |

Cuadros

| | |
|---|----|
| Cuadro: Resumen de resultados del modelado espacial de suelos afectados por salinidad | vi |
| Cuadro 1: Características de los suelos salinos | 2 |
| Cuadro 2: Identificación de la intensidad de afectación por salinidad | 3 |

Resumen ejecutivo

Esta Lección constituye el cuarto paso del programa de creación de capacidades diseñado para desarrollar las capacidades nacionales, así mismo, de armonizar procedimientos para el desarrollo de información de suelos afectados por salinidad en los ámbitos nacional y global. El objetivo general de esta Lección es brindar apoyo a los participantes en el desarrollo de mapas nacionales de suelos afectados por salinidad. Se espera que, al término de esta lección, los participantes produzcan mapas nacionales de suelos afectados por salinidad en sus países.

Cuadro: Resumen de resultados del modelado espacial de suelos afectados por salinidad

| Concepto | Descripción | | Cronograma |
|---------------------------|--|------------------|------------|
| Mapas de entrada | Mapas de entrada (entre 0-30 y 30-100 cm) | | |
| | Conductividad eléctrica | dS/m | |
| | pH | - | |
| | Porcentaje de Sodio Intercambiable | - | |
| Programas de computación | R y sus paquetes contribuidos | | |
| Mapas en archivos geoTiff | Resultados | | 2 días |
| | Tipos principales de suelos afectados por salinidad | 0-30 y 30-100 cm | |
| | Mapas de incertidumbre de suelos afectados por salinidad | 0-30 y 30-100 cm | |
| Evaluación de precisión | Índices de precisión | | |
| | Índice Kappa | | |
| | Gráfico de matriz de confusión | | |



1 Introducción

1.1 Perspectiva

Los suelos salinos son grupos de suelos con alto contenido de sales solubles y/o altas cantidades de iones de sodio. El tipo de sales, sus concentraciones y los factores que favorecen su acumulación, son características importantes y constituyen la base del mapeo de suelos afectados por salinidad. Las tres principales categorías para mapear suelos afectados por salinidad son: métodos basados en la interpretación de mapas por tipo de suelo, aplicaciones de sensores remotos, y métodos basados en los indicadores del problema de salinidad. Esta lección se centra en el método que utiliza indicadores del problema de salinidad que se enfoca en la clasificación de los principales tipos e intensidad de suelos afectados por salinidad, utilizando mapas de entrada de indicadores de salinidad. La Lección se dirige a expertos nacionales con conocimiento y acceso a los indicadores de suelos afectados por salinidad en sus países. Se espera que sus resultados formen la base de datos e información para construir información de suelos afectados por salinidad nacionales.

1.2 Objetivo

El objetivo general de esta Lección es establecer mapas espaciales nacionales de suelos afectados por salinidad en cada país miembro.

1.3 Resultados esperados

Al finalizar esta Lección, se espera que los participantes:

- i. Comprendan la clasificación de suelos afectados por salinidad.
- ii. Produzcan mapas espaciales de suelos afectados por salinidad.
- iii. Localicen los puntos de muestreo para una posterior actualización y monitoreo del mapa de suelos afectados por salinidad.

2 Actividades

2.1 Clasificación de suelos afectados por salinidad

Los tres principales tipos de suelos salinos son: suelos salinos, sódicos, y salino-sódicos. El Cuadro 1 proporciona los esquemas de clasificación popularmente utilizados para clasificar estos principales tipos de suelos afectados por salinidad.

Cuadro 1: Características de los suelos salinos

| Propiedad del suelo | Unidad/Símbolo | Tipo de suelo afectado por salinidad | | |
|------------------------------------|----------------|--------------------------------------|---------------|--------|
| | | Salino | Salino-sódico | Sódico |
| Conductividad eléctrica | CE (dS/m) | > 4 | > 4 | < 4 |
| Porcentaje de sodio intercambiable | PSI | < 15 | > 15 | > 15 |
| pH | - | < 8.5 | < 8.5 | > 8.5 |
| Relación de absorción de sodio | RAS | < 13 | > 13 | > 13 |

El paquete *soil assessment* contiene las funciones *saltClass* para implementar el esquema de clasificación en la Tabla 1. Los datos de entrada para esta función son los tres indicadores de suelo: CE, pH y PSI. Los datos corresponden a datos puntuales, ya sea de una base de datos o mapas raster.

```
library(soilassessment)
```

```
> predictors$salty=saltClass(predictors$CEse,predictors$PH,predictors$PSI,"FAO")  
> summary(predictors$salty)
```

```
      Min.      Q1  Mediana   Media      Q3      Máx.  
1.000  1.000  1.000  1.151  1.000  5.000
```

```
> predictors$saltiness=classCode(predictors$salty,"saltclass")  
> spplot(predictors["salty"])  
> spplot(predictors["saltiness"]) # Figura 1
```

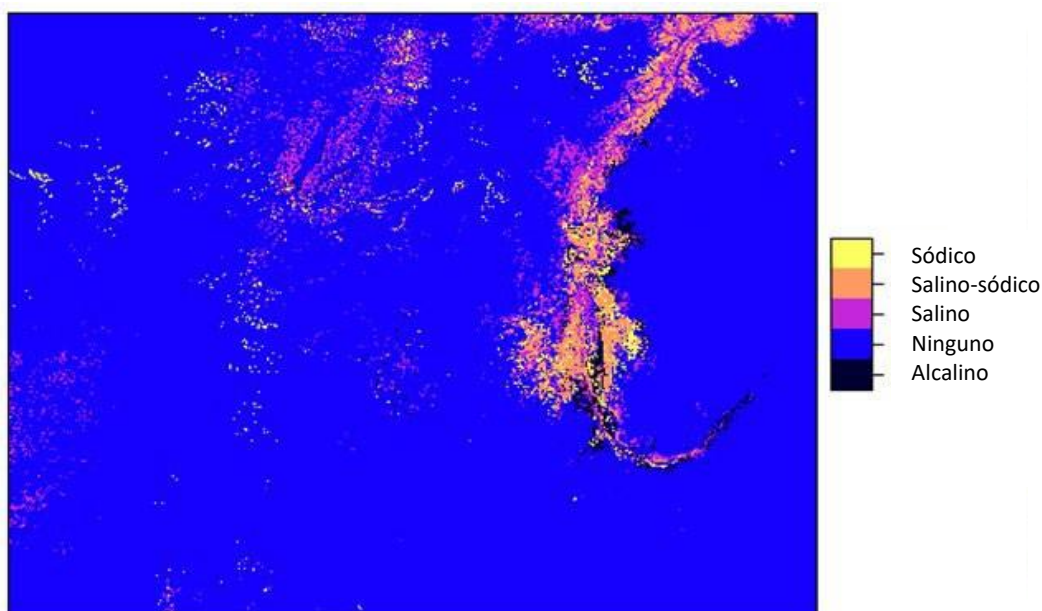


Figura 1: Mapas de suelos afectados por salinidad superficial (0-30 cm) de suelos

La clasificación de la intensidad salinidad en el suelo, se expresa utilizando niveles de conductividad eléctrica e iones de sodio intercambiable (Cuadro 2).

Cuadro 2: Identificación de la intensidad de afectación por salinidad

| Salinidad (CE _e dS/m) | | | Sodicidad (PSI) | | |
|----------------------------------|----------|--------|-------------------|---------|-----------------------------|
| Intensidad | FAO | USDA | Intensidad | FAO | Amrhein (1996) ¹ |
| Ninguna | < 0.75 | 0 - 2 | Ninguna | < 15 | < 6 |
| Ligera | 0.75 - 2 | 2 - 4 | Ligera | 15 - 30 | 6 - 10 |
| Moderada | 2 - 4 | 4 - 8 | Moderada | 30 - 50 | 10 - 15 |
| Fuerte | 4 - 8 | 8 - 16 | Alta/Fuerte | 50 - 70 | 15 - 25 |
| Muy fuerte | 8 - 15 | > 16 | Extrema/M. Fuerte | > 70 | > 25 |
| Extrema | > 15 | | | | |

```
> predictors$salt_affected=saltseverity(predictors$Cese,predictors$PH,predictors$ES
P,"FAO")
> predictors$saltaffectedness=classCode(predictors$salt_affected,"saltseverity")
> splot(predictors["saltaffectedness"]) # Figura 2
```

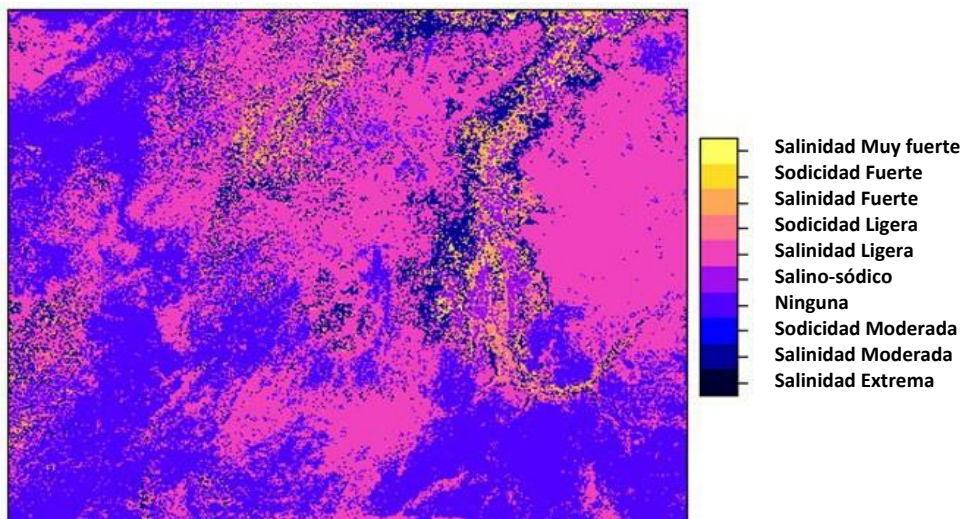


Figura 2: Mapa de intensidad de salinidad superficial (0-30 cm) del suelo

El mapa final (Figura 2), se exporta como formato de archivo GIS. Debido a que la función de exportar no trabaja con factores/valores de carácter, las clases de salinidad en los mapas se convierten primero en valores numéricos de mapa para luego ser exportados. Se requiere una tabla de consulta (LUT) para ayudar a identificar las clases y los códigos numéricos únicos generados para cada valor de mapa. La LUT se exporta como archivo de texto.

```
> predictors$saltclass=as.numeric(predictors$saltaffectedness)
> salinity_LUT30=classLUT(predictors["saltaffectedness"],"saltseverity")
|=====| 100%
> writeGDAL(predictors["saltclass"],drivename = GTiff,"Top0_30saltaffected.tif")
> write.table(salinity_LUT30,file = "saltaffected_LUT30.txt",row.names = FALSE)
```

¹ Amrhein C. 1996. *Australian sodic soils: Distribution, properties, and management*. Soil Science 161.

2.2 Evaluación de la precisión

La precisión del mapa clasificado de suelos afectados por salinidad, se evalúa utilizando la matriz de confusión. En esta estrategia, las muestras de reserva se clasifican independientemente en términos de tipos y severidad de salinidad en el suelo. La clasificación de las muestras de reserva debe seguir el mismo procedimiento de armonización como otros datos de entrada (es decir, armonización de indicadores de entrada y profundidades 0-30 y 30-100 cm). Estas clases son después comparadas con las clases de pixel extraído a partir de los mapas clasificados. El índice Kappa es un indicador adecuado para reportar la precisión.

#Importe y clasifique el conjunto de datos de validación

```
> soilv=readOGR(".", "validation_harmonized")
> soilv=subset(soilv,soilv$Horizon==1)
> soilv$salt_affected1=saltSeverity(soilv$CE,soilv$pH,soilv$PSI,"FAO")
> summary(soilv$salt_affected1)

soilv$saltaffectedness1=classCode(soilv$salt_affected1,"saltseverity")
> summary(soilv$saltaffectedness1)
```

| | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Salinidad Extrema | Salinidad Moderada | Sodicidad Moderada | Ninguna |
| 3 | 10 | 1 | 18 |
| salino_sódico | SalinidadLigera | SodicidadLigera | SalinidadFuerte |
| 12 | 13 | 16 | 5 |

Después de clasificar el conjunto de datos de validación, el conjunto de datos se utiliza para extraer los valores de pixel del mapa clasificado y compararlos con la validación clasificada.

Extraiga las clases de salinidad a partir del mapa utilizando las muestras de validación

```
> soilv=subset(soilv,!is.na(soilv$saltaffectedness1))
> predictors.ovv=over(soilv, predictors)
> soilv$salt_affected=predictors.ovv$salt_affected
> soilv$saltaffectedness=predictors.ovv$saltaffectedness
```

Verifique el resumen de los pixeles clasificados extraídos

```
> summary(soilv$salt_affected)
  Min.   Q1   Mediana   Media   Q3   Máx.
3.000  6.000  8.000  7.808 10.000 14.000
> summary(soilv$saltaffectedness)
  Salinidad Extrema  Salinidad Moderada  Sodicidad Moderada  Ninguna
1                  7                    0                  14
  salino_sódico  SalinidadLigera  SodicidadLigera
  SalinidadFuerte 18
  SodicidadFuerte 0  SalinidadMuyFuerte 2
11                  10
```

Una comparación visual muestra que los conjuntos de datos de validación tenían puntos clasificados como suelo extremadamente salino; sin embargo, el mapa reportaba sólo un pixel. De forma similar, tres puntos en los conjuntos de datos de validación tenían clase de salinidad fuerte mientras que el mapa tenía 10 pixeles con clases de salinidad fuerte.

Una representación gráfica de la comparación (matriz de confusión) proporciona una clara imagen de la precisión (Figura 3).

```
> agreementplot(confusion(soilv$salt_affected, soilv$salt_affected1),main = "Accuracy assessment",xlab = "Class codes in holdout samples", ylab = "Class codes in map")
> kappa(confusion(soilv$salt_affected,soilv$salt_affected1))
      valor      ASE      z  Pr(>|z|)
Sin ponderar 0.4211 0.06384 6.597 4.208e-11
Ponderado    0.4780 0.07792 6.135 8.525e-10
```

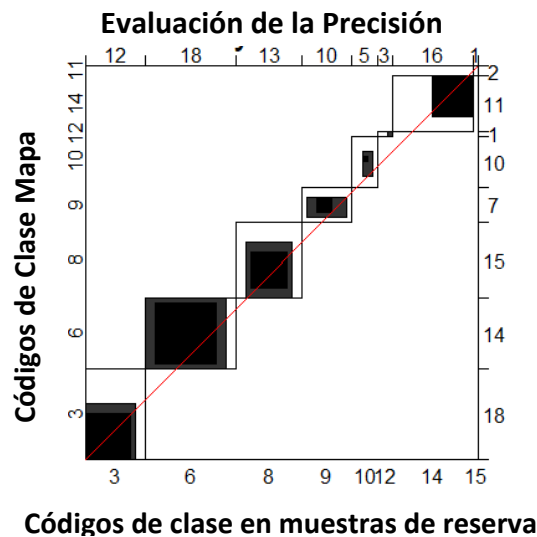


Figura 3: Precisión de la clasificación de suelos afectados por salinidad

2.3. Evaluación de la incertidumbre

La evaluación de la incertidumbre en el modelado del suelo afectado por salinidad, se concibe como la estimación de las incertidumbres contribuidas por el modelado de datos de entrada e incertidumbres del modelo de clasificación de la salinidad. El enfoque de propagación de incertidumbre Monte Carlo, se utiliza para modelar tanto la incertidumbre de los datos de entrada como la incertidumbre del modelo de clasificación. Es un enfoque que consta de tres pasos, que implica la especificación del parámetro de entrada, el desarrollo de las distribuciones marginal y conjunta, y simulaciones para la propagación de incertidumbre. Las especificaciones del parámetro de entrada comprenden la definición del modelo de clasificación de la salinidad y la distribución espacial de la media y la varianza de las variables de entrada. La distribución espacial de la media y la varianza se utiliza para entrenar las simulaciones MC en un número establecido de simulaciones/realizaciones. Por lo general, las simulaciones MC son más precisas con un mayor número de realizaciones. Sin embargo, este análisis puede tomar un tiempo de cálculo para grandes conjuntos de datos. Es necesario hacer un balance para salvaguardar una precisión adecuada y al mismo tiempo incurrir en un tiempo de cálculo moderado. Se sugiere un valor de 100 para modelar suelos afectados por salinidad. El desarrollo de funciones de densidad marginal utiliza parámetros de distribución estadística y modelos de correlación (crm). Algunos ejemplos de parámetros de distribución estadística, que dependen del tipo de distribución, son la media (\bar{x}) y la variación estándar (ss) para la distribución normal, o la escala (β) y tasa (α) para la distribución gama.

Los siguientes pasos describen el proceso para preparar los mapas del indicador de entrada en formato de archivo raster debido a que los módulos para evaluación de incertidumbre fueron desarrollados para formato de archivo raster. Los mapas de entrada, son, además, convertidos en

spatialPixelsDataFrame para facilitar operaciones matemáticas en marcos de datos. Es importante verificar las distribuciones de probabilidad de los datos de entrada utilizando la función histograma. Aunque las simulaciones MC, en la Figura 4, no son estrictas en cuanto al tipo de distribución, la distribución normal es fácil de muestrear. Por lo tanto, se recomienda establecer distribuciones normalizadas a partir de los mapas de entrada.

Convierta las capas de entrada en archivos raster

```
> CE=raster(predictors["CEse"]);names(CE)=c("CE"); CE1=as(CE,"SpatialPixelsDataFram
e")
> PH=raster(predictors["PH"]); names(PH)=c("PH"); PH1=as(PH,"SpatialPixelsDataFram
e")
> PSI=raster(predictors["PSI"]);names(CE)=c("PSI");PSI1=as(PSI,"SpatialPixelsDataFr
ame")
>
> CEte=raster(predictors["CEte"]);CEsd=pred_uncerta$pred_sd; names(CEsd)=c("CEsd")
> PHde=raster(predictors["PHt"]);PHsd=pred_uncertb$pred_sd; names(PHsd)=c("PHsd")
> PSIt=raster(predictors["PSIt"]);PSIsd=pred_uncertc$pred_sd; names(PSIsd)=c("PSIsd
")
```

Obtenga la autocorrelación espacial de la muestra (Figura 4)

```
> b=nrow(CE1)
> c=trunc(0.01*b)
> jj=CE1[sample(b,c),]
> vrm=autofitVariogram(CE~1,jj)
> plot(vrm)#Note the spatial correlation model and the value of Range parameter
> acf((CE1$CE)) ##Also not the acf0 (at lag 0)
> CE_crm <- makeCRM(acf0 = 0.85, range = 20000, model = "Sph")
> plot(CE_crm, main = "CE correlogram")
```

Las funciones de correlación anteriores se repiten para todos los indicadores de entrada del suelo para 0-30 cm y 30-100 cm.

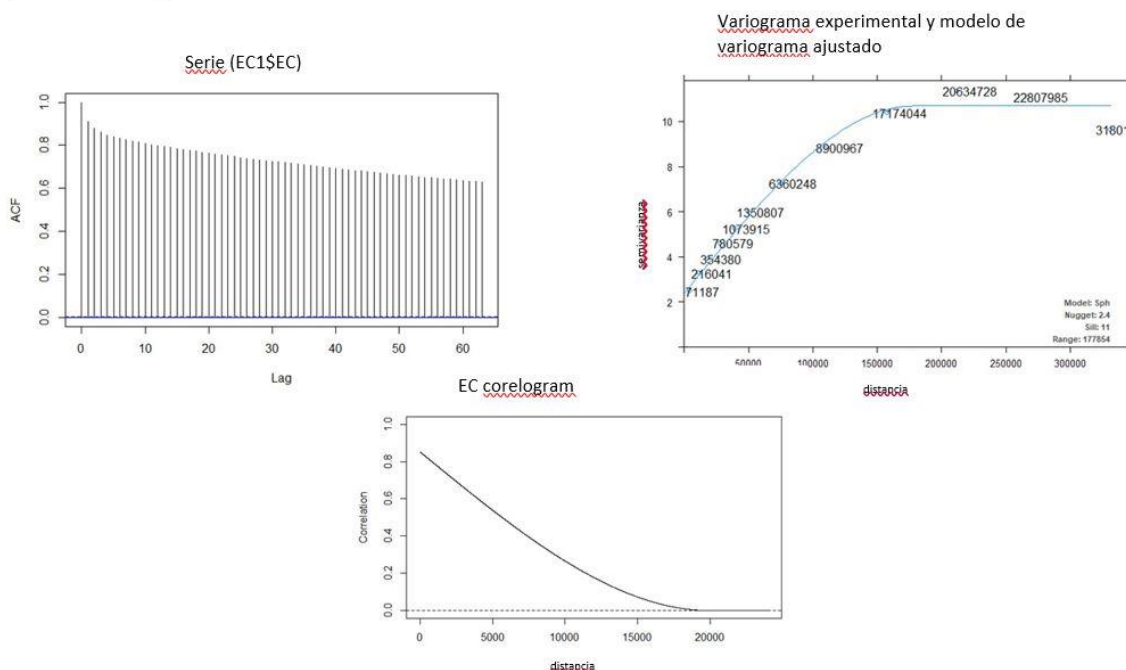


Figura 4: Funciones de correlación para CE (0-30 cm)

Desarrolle los modelos de incertidumbre de variables múltiples de entrada marginal y conjunta para definir los modelos MC

```

> CE_UM=defineUM(distribution="norm",distr_param = c(CEte,CEsd),crm =CE_crm,id = "E
C")
> PH_UM=defineUM(distribution = "norm",distr_param =c(PHde,PHsd),crm =PH_crm,id = "P
H")
> PSI_UM=defineUM(distribution="norm",distr_param=c(PSIt,PSIsd),crm=PSI_crm,id= "ES
P")
> class(CE_UM);class(PH_UM);class(PSI_UM)
[1] "MarginalNumericSpatial"
[1] "MarginalNumericSpatial"
[1] "MarginalNumericSpatial"

```

#Obtenga los valores de correlación y utilícelos para definir el Modo de Incertidumbre Monte Carlo (MUM)

```

> cor(values(Ecte),values(Phde)); cor(values(Ecte),values(PSIt)); cor(values(Phde),
values(PSIt))
[1] 0.5511048
[1] 0.3204495

[1] 0.2859129

```

```

> salinityMUM = defineMUM(umlist = list(CE_UM, PH_UM, PSI_UM), cormatrix =
matrix(c(1, cor(values(Ecte),values(Phde)), cor(values(Ecte),values(PSIt)),
cor(values(Ecte), values(Phde)), 1, cor(values(Phde), values(PSIt)),
cor(values(Ecte), values(PSIt)), cor(values(Phde), values(PSIt)),1), nrow = 3, ncol
= 3))

> class(salinityMUM)
[1] "JointNumericSpatial"

```

Ahora se desarrollan los posibles procesos después de establecer los modelos de Incertidumbre Monte Carlo (MUM). El nivel 100 se establece para simular las simulaciones MC.

Realice los procesos MC a partir de las distribuciones

```

> MC <- 100
> input_sample = genSample(UMobject = salinityMUM, n = MC,
samplmethod =
"ugs", n max = 20, asList = FALSE)
Modelo linear de Coregionalización encontrado. Bien. [utilizando la cosimulación
Gaussiana]

```

Calcule las estadísticas de la muestra de entrada

```

> CE_sample = input_sample[[1:MC]]
> PH_sample = input_sample[[ (MC+1):(2*MC)]]
> PSI_sample = input_sample[[ (2*MC+1):(3*MC)]]
> CE_sample_mean <- mean(CE_sample)
> PH_sample_mean <- mean(PH_sample)
> PSI_sample_mean <- mean(PSI_sample)

> CE_sample_sd <- calc(CE_sample, fun = sd)
> PH_sample_sd <- calc(PH_sample, fun = sd)
> PSI_sample_sd <- calc(PSI_sample, fun = sd)

```

Grafique los procesos

```

> par(mfrow=c(2,2),mar = c(1, 1, 2, 2), mgp = c(1.7, 0.5, 0), oma = c(0, 0, 0, 1),
+ las = 1, cex.main = 1, tcl = -0.2, cex.axis = 0.8, cex.lab = 0.8)
> plot(CE_sample_mean, main = "Mean of CEt realizations", xaxt = "n", yaxt = "n")
> plot(PH_sample_mean, main = "Mean of PHT realizations", xaxt = "n", yaxt = "n")
> plot(PSI_sample_mean, main = "Mean of PSIt realizations", xaxt = "n", yaxt = "n")

```

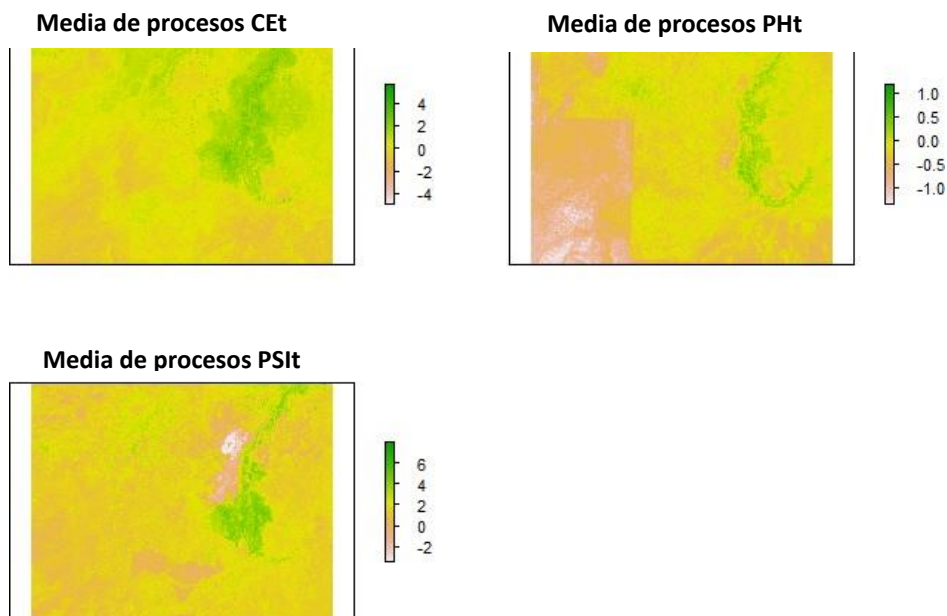



Figura 5: Procesos simulados de indicadores normalizados del suelo

Tome en cuenta que las simulaciones MC se realizaron sobre los indicadores de entrada normalizados del suelo (Figura 5). Es posible muestrear a partir de datos no normalizados. Sin embargo, se prefiere una distribución estadística armonizada.

Propagación de incertidumbre a través del modelo de clasificación

El modelo de propagación de incertidumbre se utiliza para determinar la forma en la cual, las incertidumbres en los indicadores de entrada del suelo, se propagan a través del modelo de clasificación hacia el mapa clasificado final.

```
> Salinity_model_raster <- function (CE1,PH1,PSI1){
+   ww=CE1
+   ww=raster(ww)
+   ww$salt=saltSeverity(values(CE1),values(PH1),values(PSI1),"FAO")
+   ww=ww$salt; names(ww)=c("salt")
+   ww
+ }

> v <- list()
> v[[1]] = map(1:100, function(x){input_sample[[x]]})
> v[[2]] = map(101:200, function(x){input_sample[[x]]})
> v[[3]] = map(201:300, function(x){input_sample[[x]]})
> input_sample=v
> salinity_sample=propagate(realizations=input_sample,model=Salinity_model_raster,n
=MC)
```

#Determine la incertidumbre en el mapa clasificado final

```
> samplelist <- list()
> samplelist [[1]] = map(1:100, function(x){input_sample[[x]]})
> samplelist [[2]] = map(101:200, function(x){input_sample[[x]]})
> samplelist [[3]] = map(201:300, function(x){input_sample[[x]]})
> input_sample= samplelist
>   salinity_sample = propagate(realizations = input_sample, model =
Salinity_model_raster, n = MC)

> salinity_sample <- raster::stack(salinity_sample)
> names(salinity_sample) <- paste("salt.", c(1:nlayers(salinity_sample)), sep = "")
> salinity_freq = modal(salinity_sample, freq=TRUE)
> salinity_prop = salinity_freq/100
```

```
> salinity_SErr = sqrt(salinity_prop*(1-salinity_prop)/100)
> CL=0.95
> z_star=round(qnorm((1-CL)/2,lower.tail=F),digits = 2)
> salinity_MErr=z_star*salinity_SErr
```

El resultado final se exporta al formato de archivo GIS para compartir datos.

```
> writeRaster(salinity_MErr,filename="Salinity_ME.tif",format="GTiff")
```

3 Recursos

Los siguientes recursos serán de utilidad para implementar las actividades desarrolladas durante la recolección de datos:

- Referencias
 - Guías técnicas y manual para el mapeo de suelos afectados por salinidad (GSP-Secretariat@fao.org).
 - Guías y especificaciones nacionales para el mapeo de suelos afectados por salinidad.
- Fuentes de datos: Mapas de indicadores de suelos afectados por salinidad.

Programa de computación R y sus paquetes asistidos.

4 Resultados

Se espera que cada participante produzca lo siguiente al terminar la lección:

1. Mapas espaciales (0-30 y 30-100 cm) de suelos afectados por salinidad.
2. Mapas de incertidumbre (0-30 y 30-100 cm) de suelos afectados por salinidad.
3. Precisión de mapas de suelos.



Gracias al apoyo financiero de



Ministerio de Finanzas de la
Federación de Rusia



Comisión
Europea



Rural Development
Administration

