

USO DE VARIABLES MORFOMETRICAS EN EL ANALISIS DE LA DENSIDAD DE DRENAJE DE LAS MICROCUENCAS DE PRIMER ORDEN (STRAHLER) DEL RIO OC OA EN LA REPUBLICA DOMINICANA

ALBA CADETE, MIREL VOLCAN, YOENNY URBAEZ *Estudiantes, Maestría de Teledetección y Ciencias de la Información Geográfica, Universidad Autónoma de Santo Domingo (UASD)*

El análisis parte de datos de observación de 33 variables morfométricas de la cuenca del río Ocoa en la República Dominicana, previamente procesadas mediante el módulo r.basin del software QGIS; mediante la aplicación de Análisis Exploratorio de Datos Espaciales por el software R, se determinó la correlación como criterio para seleccionar cuales variables podían ser de utilidad para el diseño de un modelo espacial. A partir de allí se establecieron las hipótesis de dependencia/autocorrelación y heterogeneidad espacial entre la densidad de drenaje como variable dependiente y las variables independientes seleccionadas para ser comprobadas en el análisis de los datos espaciales. Finalmente, se aplicó la técnica de interpolación espacial kriging ordinario, utilizando los 3027 puntos espaciales de la variable dependiente

Keywords: análisis de datos espaciales, modelización, kriging, geomorfología, cuenca Ocoa

1 Introducción

La necesidad de estudiar y planificar el espacio ha llevado a la geografía a experimentar un avance articulado a la estadística, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la estadística aplicada. Por otro lado, el estudio del ciclo hidrológico a nivel de cuenca hidrográfica como elemento fundamental de abastecimiento de agua en los territorios que es el caso que nos ocupa en este análisis espacial del área de la cuenca del río Ocoa, cuyo objetivo general es la mera aplicación de un ejercicio académico para el logro del aprendizaje del uso de algoritmos informáticos del software libre R utilizando variables geomorfológicas de esta cuenca del Caribe en la República Dominicana.

2 Preguntas de investigación

¿Qué patrón de asociación puede determinarse a partir de los datos de las variables geomorfológicas disponibles de la cuenca del río Ocoa en la República Dominicana?

¿Los resultados de las pruebas estadísticas de correlación de las variables seleccionadas, permiten predecir escenarios de comportamiento de la cuenca del río Ocoa a través del diseño de un modelo basado en dichas variables?

3 Metodología

Los datos con los cuales se desarrolla el análisis fueron los archivos pre procesados (R. Basin-QGIS) de las características geomorfológicas del área de la cuenca del río Ocoa en formato .gpkg y los respectivos archivos poligonales del área de estudio, en el mismo formato.

El criterio de orden de cauces seleccionado fue el de Strahler (1957), el cual consiste en asignarle un número a cada uno de los cauces tributarios en forma creciente, desde el inicio de la línea divisoria o parte aguas hasta llegar al cauce principal, de manera que el número final señale el orden de la red de drenaje en la cuenca.

Este concepto de orden de cauces tomado de González de M. (2004) quien menciona que Horton (1945) y Strahler (1957) definen una serie de leyes morfométricas relacionando el número de cauces, sus longitudes, pendientes y áreas de drenaje en una cuenca con el orden de cauces, basándose, por ejemplo, en que la longitud de los cauces afecta claramente a las ratios de recogida de aguas y su transmisión aguas abajo para el caso de la longitud, de igual modo para el resto de las variables.

Por su parte Strahler (1957) afirma que las propiedades adimensionales de la cuenca incluyen números de orden de la corriente, relaciones de bifurcación, ángulos de unión, pendientes máximas del lado del valle, pendientes medias de las superficies de las cuencas hidrográficas, gradientes de canales, relaciones de relieve y propiedades e integrales de curva hipsométrica. En otras palabras, si existe similitud geométrica entre dos cuencas, indistintamente de su tamaño, los valores de estas variables serán idénticos, excepto la longitud de curso que si guarda relación con el tamaño de la cuenca.

Tabla 1. Variables seleccionadas para el análisis

VARIABLES		CONCEPTO	FORMULA
CODIGO INDEPENDIENTES			
MS	Mean_Slope	La pendiente promedio del canal principal (km) calculada mediante el producto de la longitud de las curvas de nivel (L_i) y su equidistancia (E), dividida entre en área de la curva, multiplicada por 100 (%) y expresada en porcentaje.	$MS=100\sum L_i E/A$
TS	Total_Stream_Length_km	La longitud total del canal principal en kilómetros cuadrados (L) corresponde a la longitud más larga de la sucesión de segmentos que conectan una fuente a la salida de la cuenca	$TS=L$
SF	Shape_Factor	El factor de forma relaciona el área de la cuenca (A) y el cuadrado de la longitud del canal principal (L^2).	$SF=A/L^2$
ER	Elongation_Ratio	La razón de alargamiento relaciona el diámetro del círculo equivalente al perímetro de la cuenca (D) y la longitud del canal principal en km^2 (L).	$ER=D/L$
DD	Drainage_Density	La densidad de drenaje (DD) relaciona la longitud total de las ramificaciones del río (l) y el área de la cuenca en km^2	$DD=\frac{\sum l}{A}$

VARIABLES			
CODIGO	INDEPENDIENTES	CONCEPTO	FORMULA
LogDD	VARIABLE INDEPENDIENTE	Transformación logarítmica, dado el sesgo encontrado en las pruebas de dispersión de Moran de la variable DD.	Log (DD)

Fuente: Elaboración propia a partir de Di Leo Margherita (2013)

Las variables fueron seleccionadas atendiendo a sus coeficientes de correlación obtenidos mediante la función `cor` de R, dentro de las microcuencas de orden 1, resultando con mayor valor de correlación la variable Densidad de drenaje con Elongation ratio y Shape factor. Sin embargo, se incluyeron dos variables adicionales para robustecer el análisis y modelo resultante. Las dos variables adicionales fueron Total stream length y Mean slope.

El procesamiento de los datos puede esquematizarse de la siguiente forma (Script reproducible en archivo adjunto):

4 Importación, organización de datos e interoperabilidad.

Los datos de variables geomorfológicas en formato .gpkg y los polígonos en formato .geojson fueron cargados al RStudio conectado al servidor principal (New York). Posteriormente leídos y georeferenciados en el sistema de coordenadas EPSG:32619 WGS 84/UTM zona 19N, convertidos en un simple feature sf por ser un formato no topológico para almacenar datos geoespaciales en una base de datos el cual define funciones para acceder, operar y procesar datos. Esto a los fines de ser analizados con R.

Posteriormente, se seleccionó el grupo de microcuencas pertenecientes cuencas de primer orden (clasificación de Strahler) y organizadas en columnas numéricas con sus respectivos valores y depurados de celdas vacías (NA). A partir de la organización de estos primeros datos se determinó la correlación de variables del estudio a los fines de seleccionar aquellas idóneas para el modelado, atendiendo a su índice de correlación.

Una vez obtenidos los índices, se seleccionó el grupo de variables con índice de correlación mayor a 0.5 y no tan próximos a 1 (correlación perfecta) que fueran coherentemente relacionables sometiéndolas a las respectivas pruebas de hipótesis en un modelo espacial de cuenca hidrográfica. Es así como se seleccionan la variable densidad de drenaje en función de las variables independientes factor de forma, relación de elongación, longitud total del curso en km y media de la pendiente; las cuales fueron extraídas de los datos generales mediante un código de selección de la librería `dplyr` el cual permite la unión espacial de variables seleccionadas para seguidamente diseñar un sf de tales variables seleccionadas unidas a los polígonos que permitirán hacer el análisis de agrupación espacial (clusters).

Previo a la evaluación del diagrama cuantílico normal de las variables seleccionadas es necesario crear el objeto XY de referencia de cuadrantes para observar la dispersión de las variables analizadas. De tal evaluación cuantílica se determinó el sesgo de la variable dependiente, razón por la cual se hizo la transformación logarítmica de la misma. Hasta aquí se han creado dos objetos correspondientes, primero, al orden inicial de variables seleccionadas y segundo, arreglo de variables con la variable dependiente transformada. Posteriormente, un último objeto con el conjunto de variables completo unido al objeto de referencia cuantílico de normalidad de los datos (XY). Este último objeto, `Varselpol3`, será utilizado en todos los análisis ESDA subsiguientes para evaluar la relación vecinal y modelo espacial de predicción de la densidad de drenaje en la cuenca

del río Ocoa.

5 ANALISIS EXPLORATORIO DE DATOS ESPACIALES (ESDA):

5.1 Autocorrelación espacial en entidades poligonales

Cabe destacar la condición *sine qua non* del análisis de correlación espacial previo al análisis de vecindad, caso contrario, no se puede interpolar, ni modelar.

En esta fase se aplicaron las pruebas para comprobar tanto el supuesto de normalidad de los datos (Shapiro-Wilk) como el supuesto de autocorrelación de la variable dependiente transformada (I de Moran Global). Esta ultima prueba se hizo tanto gráficamente (moran.plot) como a través de los valores de la probabilidad cuyo valor menor a 0.05 es evidencia preliminar para rechazar la hipótesis nula, la cual niega la existencia de autocorrelación espacial global.

Posteriormente se evalúa la autocorrelación espacial local mediante el diagrama de dispersión de Moran a través de la función moran.plot. Finalmente, con el script 'lisacluster.R' diseñado previamente se ejecutó la función lisamap para generar el mapa LISA (siglas de "local indicators of spatial autocorrelation").

En ese caso, el mapa LISA descompone el índice de Moran y verifica en cuánto contribuye cada unidad espacial a la formación del valor general, permitiendo obtener un valor de significancia para cada cluster formado por los valores similares de cada unidad espacial y sus vecinos. Estos agrupamientos o clusters de especial concentración de valores altos o bajos de una variable se conocen también como zonas calientes/frías (hot spots/cold spots, respectivamente) según se trate de una concentración de valores especialmente altos/bajos de una variable, correspondientemente (Chasco Yrigoyen, 2006:44 citado por Celemín (2009)).

En ese orden de ideas, Aldstadt (2010), describe como métodos para el análisis de la asociación espacial dos categorías: las que se utilizan para determinar si hay agrupación en la región de estudio (agrupamiento global) y las que intentan identificar la ubicación de las agrupaciones (agrupación local). La primera categoría proporciona una estadística única que resume el patrón espacial de la región y el segundo examina subregiones o vecindarios específicos dentro del estudio para determinar si esa área representa un grupo de valores altos (hot spot) o valores bajos (cold spot).

En consecuencia, el primer paso es definir cuales relaciones entre observaciones deben ser consideradas con peso diferente a cero, es decir, el criterio de vecindad a ser utilizado. Lo segundo es asignar pesos a las conexiones y finalmente, determinar patrones de asociación entre las variables analizadas Bivand (2013).

Para la elaboración del LISA Clúster, nos centraremos en la variable dependiente, "Logaritmo de Densidad de Drenaje (LogDD)". Las pruebas de vecindad se hicieron por: Contigüidad, los 5 vecinos cercanos, por el peso de las observaciones vecinas en el objeto que contiene las variables seleccionadas y finalmente, en las observaciones de la data completa.

6 Modelización (Autoregresión espacial-SAR, por sus siglas en inglés).

Luego de determinar autocorrelación espacial mediante la prueba de Moran, pasamos a evaluar la significancia de la correlación espacial entre las variables del modelo. La estimación del modelo SAR se puede abordar asumiendo la normalidad del término de error y estimando por

máxima verosimilitud el siguiente modelo matricial:

$$y = \rho W y + X\beta + u$$

donde y es el vector de la dependiente, W la matriz de vecindades, X la matriz de explicativas y u un vector de errores aleatorios normalmente distribuidos Parra (2019). La forma usual de estimar los parámetros es por mínimos cuadrados generalizados o por máxima verosimilitud.

En este análisis de modelización se exploró el grado de asociación entre la variable Densidad de drenaje (Dependiente) y las variables independientes Factor de Forma (SF), Ratio de elongación (ER), longitud total del curso en km (TS) y media de la pendiente (MS), representado mediante la función lineal $DD = f(SF, ER, TS, MS)$.

El modelo fue sometido a las pruebas de supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk), Heterocedasticidad (Breush-Pagan) y significancia tanto con la variable original como con la transformada.

7 Geoestadística – Análisis puntual: Kriging Ordinario

El kriging es un método geoestadístico basado en la teoría de variables regionalizadas. Consiste en establecer la interpolación óptima entre los puntos de un interpolador local a la vez que cumple con los supuestos resaltados por Olaya (2011) (2011:328) en el caso de kriging ordinario:

1. Normalidad de la distribución de los datos de la variable interpolada
2. Media y varianza constantes a lo largo del área interpolada.
3. Covarianza solo en dependencia de la distancia entre puntos.
4. Autocorrelación significativa
5. Error mínimo de predicción
6. Pesos cercanos mayores que los lejanos
7. La presencia de un punto cercano en una dirección dada debe restar influencia a puntos en la misma dirección, pero más lejanos.
8. Puntos muy cercanos con valores muy similares deben agruparse de forma que no aparezca sesgo por sobre muestreo.
9. La estimación del error debe hacerse en función de la estructura de los puntos (ubicación), no de los valores.

Con base a lo anteriormente expuesto, se inició el proceso con la selección y georreferenciación bajo el sistema de coordenadas WGS84 UTM Zona 19, EPSG:32619. Luego se creó un objeto para delimitar el área de estudio de primer orden de red de la clasificación de Strahler y el ajuste logarítmico de la variable dependiente, densidad de drenaje, la cual corresponde a una variable de categoría discreta la cual será tomada en este estudio de práctica académica como una variable continua en virtud de que la geoestadística se aplica a variables de carácter continuo, las cuales son interpoladas/inferidas a partir de puntos de muestra.

Para el procedimiento del Kriging, partiendo del supuesto de que los datos de la variable dependiente interpolada, comprobados en el análisis estadístico exploratorio de los datos, en nuestro caso, la densidad de drenaje, el paso siguiente fue el modelado del variograma de la variable dependiente arriba mencionada. Se creó el objeto `orden1logdd` que es el resultado de la variable transformada `logDD`. Posteriormente se creó el objeto `v` para representar el variograma, utilizando la función `variogram`. Luego de generado el variograma muestral, creamos los variogramas modelo (esférico, exponencial y gauseano con rango de 1000 metros) utilizando la función `fit.variogram`

para realizar la comparación de las diversas formas con el variograma muestral de la variable dependiente ajustada por logaritmo.

A los fines de estimar el error de predicción se hizo la estructura de los puntos de interpolación (cuadricula) mediante la función grd.

...

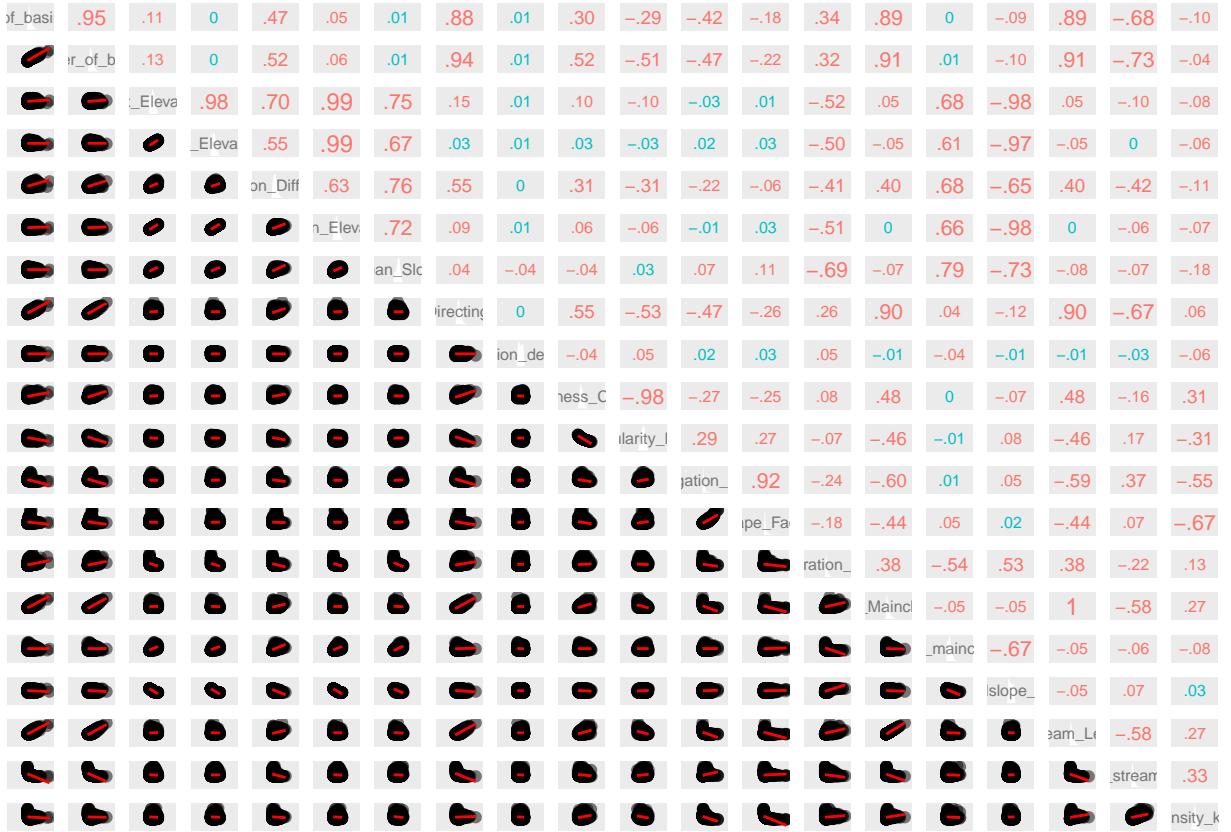
8 Resultados

Importación, organización de datos e interoperabilidad

Unión espacial de los datos

```
## Simple feature collection with 3027 features and 12 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##       fid cat value label      DD      SF      ER      TS      MS
## 1  3.0e+09  2     1      2.189137 0.4974215 1.1522986 0.5194 26.44
## 2  4.0e+09  3     3      1.317045 1.5193957 6.7526210 0.0849 31.26
## 3  5.0e+09  7     2      5.021898 0.2158705 0.8774590 0.3870 24.12
## 4  6.0e+09  11    18     3.348350 0.3116489 0.7588246 0.7191 27.12
## 5  7.0e+09  8     8      1.323741 0.9530676 3.2504695 0.1449 36.98
## 6  8.0e+09  9     4      5.407681 0.2022916 0.7547642 0.4946 23.41
## 7  9.0e+09  12    10     1.707515 0.6384885 1.5645024 0.3621 34.67
## 8  1.0e+10  14    9      1.776552 0.7101480 2.8058127 0.1449 37.30
## 9  1.1e+10  15    14     1.017378 1.2400654 3.7077166 0.1449 37.36
## 10 1.2e+10  10    13     1.376470 0.8268738 2.2012308 0.2473 30.57
##       logDD      x      y      geometry
## 1  0.7835072 334063.9 2067449 POLYGON ((334500 2067660, 3...
## 2  0.2753904 334582.9 2067514 POLYGON ((334500 2067390, 3...
## 3  1.6138079 334172.4 2067265 POLYGON ((334440 2067330, 3...
## 4  1.2084677 334366.4 2066754 POLYGON ((333840 2067180, 3...
## 5  0.2804618 333919.7 2066981 POLYGON ((333750 2067240, 3...
## 6  1.6878203 334365.9 2067039 POLYGON ((334380 2067240, 3...
## 7  0.5350394 333028.9 2066963 POLYGON ((332640 2067120, 3...
## 8  0.5746743 333771.9 2066901 POLYGON ((333540 2067090, 3...
## 9  0.0172283 333384.3 2066840 POLYGON ((333330 2067090, 3...
## 10 0.3195221 332580.6 2066931 POLYGON ((332280 2067000, 3...
```

Panel de correlaciones de los datos



```

##                                     Area_of_basin_km2
## Area_of_basin_km2                  1.00000000000
## Perimeter_of_basin_km              0.9544758340
## Max_Elevation                      0.1085164535
## Min_Elevation                     -0.0037333059
## Elevation_Difference                0.4687069509
## Mean_Elevation                      0.0527159463
## Mean_Slope                          0.0116722827
## Length_of_Directing_Vector_km      0.8821719458
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw 0.0133206854
## Compactness_Coefficient            0.3026490133
## Circularity_Ratio                  -0.2885703636
## Elongation_Ratio                   -0.4201325677
## Shape_Factor                        -0.1774118107
## Concentration_Time_hr               0.3376141894
## Length_of_Mainchannel_km            0.8868782573
## Mean_slope_of_mainchannel_percent   -0.0000623078
## Mean_hillslope_length_m             -0.0868302019
## Total_Stream_Length_km              0.8866554994
## First_order_stream_frequency       -0.6765432843
## Drainage_Density_km_over_km2       -0.0999198137
##                                     Perimeter_of_basin_km
## Area_of_basin_km2                  0.954475834
## Perimeter_of_basin_km              1.000000000

```

## Max_Elevation	0.126072976
## Min_Elevation	0.003374361
## Elevation_Difference	0.517032317
## Mean_Elevation	0.064253895
## Mean_Slope	0.007432527
## Length_of_Directing_Vector_km	0.941048386
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.005013254
## Compactness_Coefficient	0.524072883
## Circularity_Ratio	-0.505511388
## Elongation_Ratio	-0.465434321
## Shape_Factor	-0.222059361
## Concentration_Time_hr	0.323183639
## Length_of_Mainchannel_km	0.912566038
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.011612370
## Mean_hillslope_length_m	-0.097546277
## Total_Stream_Length_km	0.912065876
## First_order_stream_frequency	-0.729729329
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.037858082
##	
## Area_of_basin_km2	0.108516454
## Perimeter_of_basin_km	0.126072976
## Max_Elevation	1.000000000
## Min_Elevation	0.979845711
## Elevation_Difference	0.701703589
## Mean_Elevation	0.994679678
## Mean_Slope	0.750349000
## Length_of_Directing_Vector_km	0.152748940
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.008534377
## Compactness_Coefficient	0.097747484
## Circularity_Ratio	-0.100979358
## Elongation_Ratio	-0.034917788
## Shape_Factor	0.014803339
## Concentration_Time_hr	-0.522952456
## Length_of_Mainchannel_km	0.050522470
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.682330464
## Mean_hillslope_length_m	-0.976100493
## Total_Stream_Length_km	0.050305343
## First_order_stream_frequency	-0.104632503
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.080209378
##	
## Area_of_basin_km2	0.468706951
## Perimeter_of_basin_km	0.517032317
## Max_Elevation	0.701703589
## Min_Elevation	0.545241433
## Elevation_Difference	1.000000000
## Mean_Elevation	0.628662419
## Mean_Slope	0.759984277
## Length_of_Directing_Vector_km	0.546682345

## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.004216387
## Compactness_Coefficient	0.314482816
## Circularity_Ratio	-0.314862013
## Elongation_Ratio	-0.215062688
## Shape_Factor	-0.061759832
## Concentration_Time_hr	-0.413566386
## Length_of_Mainchannel_km	0.401222022
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.679079570
## Mean_hillslope_length_m	-0.649322231
## Total_Stream_Length_km	0.401542793
## First_order_stream_frequency	-0.424664856
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.109178547
##	
## Area_of_basin_km2	Mean_Elevation Mean_Slope
## Perimeter_of_basin_km	0.052715946 0.011672283
## Max_Elevation	0.064253895 0.007432527
## Min_Elevation	0.994679678 0.750349000
## Elevation_Difference	0.994064553 0.669770309
## Mean_Elevation	0.628662419 0.759984277
## Mean_Slope	1.000000000 0.717902080
## Length_of_Directing_Vector_km	0.717902080 1.000000000
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.091595925 0.043152236
## Compactness_Coefficient	0.008888368 -0.036953776
## Circularity_Ratio	0.058377050 -0.039121906
## Elongation_Ratio	-0.061951571 0.031780506
## Shape_Factor	-0.006958558 0.066886548
## Concentration_Time_hr	0.026491708 0.109470202
## Length_of_Mainchannel_km	-0.513112068 -0.688395113
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.001812884 -0.074929355
## Mean_hillslope_length_m	0.660296508 0.791702711
## Total_Stream_Length_km	-0.976432501 -0.725848165
## First_order_stream_frequency	-0.002122928 -0.075037094
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.056487200 -0.070666731
##	-0.074394042 -0.178183177
##	Length_of_Directing_Vector_km
## Area_of_basin_km2	0.88217195
## Perimeter_of_basin_km	0.94104839
## Max_Elevation	0.15274894
## Min_Elevation	0.02644784
## Elevation_Difference	0.54668234
## Mean_Elevation	0.09159593
## Mean_Slope	0.04315224
## Length_of_Directing_Vector_km	1.000000000
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.00272695
## Compactness_Coefficient	0.54755642
## Circularity_Ratio	-0.53162055
## Elongation_Ratio	-0.47271463
## Shape_Factor	-0.26333595
## Concentration_Time_hr	0.26489121

## Length_of_Mainchannel_km	0.90154020
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.04130672
## Mean_hillslope_length_m	-0.12424888
## Total_Stream_Length_km	0.90087307
## First_order_stream_frequency	-0.66625572
## Drainage_Density_km_over_km2	0.05523891
##	
## Area_of_basin_km2	0.013320685
## Perimeter_of_basin_km	0.005013254
## Max_Elevation	0.008534377
## Min_Elevation	0.011223559
## Elevation_Difference	-0.004216387
## Mean_Elevation	0.008888368
## Mean_Slope	-0.036953776
## Length_of_Directing_Vector_km	0.002726950
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	1.000000000
## Compactness_Coefficient	-0.038263247
## Circularity_Ratio	0.047959520
## Elongation_Ratio	0.020435968
## Shape_Factor	0.028979551
## Concentration_Time_hr	0.045817442
## Length_of_Mainchannel_km	-0.014559540
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.041954144
## Mean_hillslope_length_m	-0.006101928
## Total_Stream_Length_km	-0.014834648
## First_order_stream_frequency	-0.025730089
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.062373016
##	
## Area_of_basin_km2	0.302649013
## Perimeter_of_basin_km	0.524072883
## Max_Elevation	0.097747484
## Min_Elevation	0.026836115
## Elevation_Difference	0.314482816
## Mean_Elevation	0.058377050
## Mean_Slope	-0.039121906
## Length_of_Directing_Vector_km	0.547556416
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.038263247
## Compactness_Coefficient	1.000000000
## Circularity_Ratio	-0.982893198
## Elongation_Ratio	-0.274815245
## Shape_Factor	-0.253076546
## Concentration_Time_hr	0.084829477
## Length_of_Mainchannel_km	0.477967483
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.002602623
## Mean_hillslope_length_m	-0.074702534
## Total_Stream_Length_km	0.476467186
## First_order_stream_frequency	-0.161420996
## Drainage_Density_km_over_km2	0.310395399

##	Circularity_Ratio	
## Area_of_basin_km2	-0.288570364	
## Perimeter_of_basin_km	-0.505511388	
## Max_Elevation	-0.100979358	
## Min_Elevation	-0.030532368	
## Elevation_Difference	-0.314862013	
## Mean_Elevation	-0.061951571	
## Mean_Slope	0.031780506	
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.531620546	
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.047959520	
## Compactness_Coefficient	-0.982893198	
## Circularity_Ratio	1.000000000	
## Elongation_Ratio	0.289513381	
## Shape_Factor	0.265974071	
## Concentration_Time_hr	-0.074379454	
## Length_of_Mainchannel_km	-0.459171337	
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.006744063	
## Mean_hillslope_length_m	0.078708721	
## Total_Stream_Length_km	-0.457493385	
## First_order_stream_frequency	0.168318540	
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.309107811	
##	Elongation_Ratio	Shape_Factor
## Area_of_basin_km2	-0.420132568	-0.17741181
## Perimeter_of_basin_km	-0.465434321	-0.22205936
## Max_Elevation	-0.034917788	0.01480334
## Min_Elevation	0.019213707	0.03473304
## Elevation_Difference	-0.215062688	-0.06175983
## Mean_Elevation	-0.006958558	0.02649171
## Mean_Slope	0.066886548	0.10947020
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.472714634	-0.26333595
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.020435968	0.02897955
## Compactness_Coefficient	-0.274815245	-0.25307655
## Circularity_Ratio	0.289513381	0.26597407
## Elongation_Ratio	1.000000000	0.92166632
## Shape_Factor	0.921666316	1.00000000
## Concentration_Time_hr	-0.244967627	-0.18437450
## Length_of_Mainchannel_km	-0.595756838	-0.43862982
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.013563039	0.05012741
## Mean_hillslope_length_m	0.054309895	0.02193559
## Total_Stream_Length_km	-0.594894045	-0.43777825
## First_order_stream_frequency	0.370979755	0.06989293
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.546157778	-0.66918169
##	Concentration_Time_hr	
## Area_of_basin_km2	0.33761419	
## Perimeter_of_basin_km	0.32318364	
## Max_Elevation	-0.52295246	
## Min_Elevation	-0.49934496	
## Elevation_Difference	-0.41356639	

## Mean_Elevation	-0.51311207
## Mean_Slope	-0.68839511
## Length_of_Directing_Vector_km	0.26489121
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.04581744
## Compactness_Coefficient	0.08482948
## Circularity_Ratio	-0.07437945
## Elongation_Ratio	-0.24496763
## Shape_Factor	-0.18437450
## Concentration_Time_hr	1.00000000
## Length_of_Mainchannel_km	0.37973458
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.54157779
## Mean_hillslope_length_m	0.53319066
## Total_Stream_Length_km	0.37928755
## First_order_stream_frequency	-0.22050640
## Drainage_Density_km_over_km2	0.12574975
##	Length_of_Mainchannel_km
## Area_of_basin_km2	0.886878257
## Perimeter_of_basin_km	0.912566038
## Max_Elevation	0.050522470
## Min_Elevation	-0.053047221
## Elevation_Difference	0.401222022
## Mean_Elevation	-0.001812884
## Mean_Slope	-0.074929355
## Length_of_Directing_Vector_km	0.901540197
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.014559540
## Compactness_Coefficient	0.477967483
## Circularity_Ratio	-0.459171337
## Elongation_Ratio	-0.595756838
## Shape_Factor	-0.438629821
## Concentration_Time_hr	0.379734584
## Length_of_Mainchannel_km	1.000000000
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.048088478
## Mean_hillslope_length_m	-0.053644883
## Total_Stream_Length_km	0.999712141
## First_order_stream_frequency	-0.577404672
## Drainage_Density_km_over_km2	0.273665370
##	Mean_slope_of_mainchannel_percent
## Area_of_basin_km2	-0.0000623078
## Perimeter_of_basin_km	0.0116123695
## Max_Elevation	0.6823304637
## Min_Elevation	0.6124241933
## Elevation_Difference	0.6790795702
## Mean_Elevation	0.6602965081
## Mean_Slope	0.7917027108
## Length_of_Directing_Vector_km	0.0413067240
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.0419541444
## Compactness_Coefficient	0.0026026227
## Circularity_Ratio	-0.0067440632

## Elongation_Ratio	0.0135630387
## Shape_Factor	0.0501274147
## Concentration_Time_hr	-0.5415777885
## Length_of_Mainchannel_km	-0.0480884780
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	1.0000000000
## Mean_hillslope_length_m	-0.6681192684
## Total_Stream_Length_km	-0.0474631511
## First_order_stream_frequency	-0.0557148988
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.0801406065
##	Mean_hillslope_length_m
## Area_of_basin_km2	-0.086830202
## Perimeter_of_basin_km	-0.097546277
## Max_Elevation	-0.976100493
## Min_Elevation	-0.966412179
## Elevation_Difference	-0.649322231
## Mean_Elevation	-0.976432501
## Mean_Slope	-0.725848165
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.124248878
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.006101928
## Compactness_Coefficient	-0.074702534
## Circularity_Ratio	0.078708721
## Elongation_Ratio	0.054309895
## Shape_Factor	0.021935590
## Concentration_Time_hr	0.533190662
## Length_of_Mainchannel_km	-0.053644883
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.668119268
## Mean_hillslope_length_m	1.0000000000
## Total_Stream_Length_km	-0.053467451
## First_order_stream_frequency	0.068526699
## Drainage_Density_km_over_km2	0.027552614
##	Total_Stream_Length_km
## Area_of_basin_km2	0.886655499
## Perimeter_of_basin_km	0.912065876
## Max_Elevation	0.050305343
## Min_Elevation	-0.053392624
## Elevation_Difference	0.401542793
## Mean_Elevation	-0.002122928
## Mean_Slope	-0.075037094
## Length_of_Directing_Vector_km	0.900873075
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.014834648
## Compactness_Coefficient	0.476467186
## Circularity_Ratio	-0.457493385
## Elongation_Ratio	-0.594894045
## Shape_Factor	-0.437778253
## Concentration_Time_hr	0.379287551
## Length_of_Mainchannel_km	0.999712141
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.047463151
## Mean_hillslope_length_m	-0.053467451

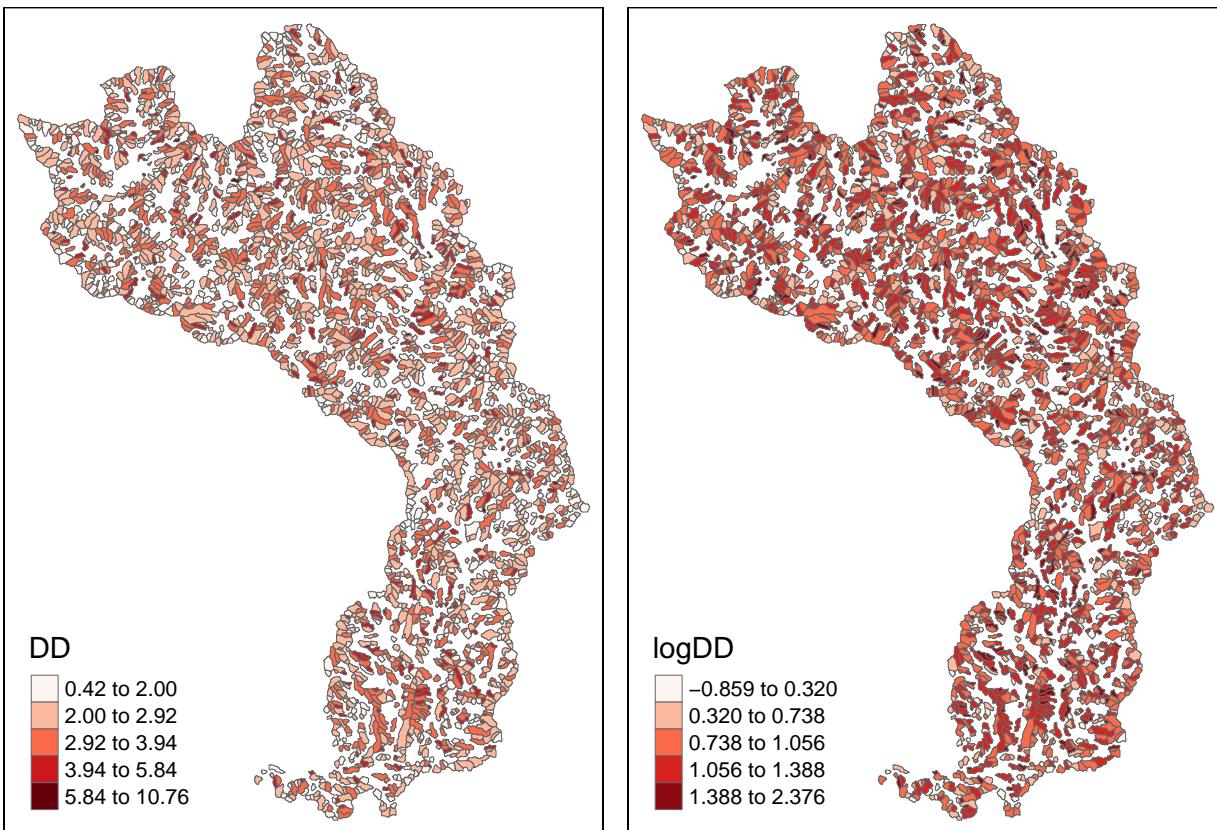
## Total_Stream_Length_km	1.000000000
## First_order_stream_frequency	-0.577169211
## Drainage_Density_km_over_km2	0.274631240
##	First_order_stream_frequency
## Area_of_basin_km2	-0.67654328
## Perimeter_of_basin_km	-0.72972933
## Max_Elevation	-0.10463250
## Min_Elevation	-0.00404504
## Elevation_Difference	-0.42466486
## Mean_Elevation	-0.05648720
## Mean_Slope	-0.07066673
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.66625572
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.02573009
## Compactness_Coefficient	-0.16142100
## Circularity_Ratio	0.16831854
## Elongation_Ratio	0.37097976
## Shape_Factor	0.06989293
## Concentration_Time_hr	-0.22050640
## Length_of_Mainchannel_km	-0.57740467
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.05571490
## Mean_hillslope_length_m	0.06852670
## Total_Stream_Length_km	-0.57716921
## First_order_stream_frequency	1.00000000
## Drainage_Density_km_over_km2	0.33133675
##	Drainage_Density_km_over_km2
## Area_of_basin_km2	-0.09991981
## Perimeter_of_basin_km	-0.03785808
## Max_Elevation	-0.08020938
## Min_Elevation	-0.06376248
## Elevation_Difference	-0.10917855
## Mean_Elevation	-0.07439404
## Mean_Slope	-0.17818318
## Length_of_Directing_Vector_km	0.05523891
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.06237302
## Compactness_Coefficient	0.31039540
## Circularity_Ratio	-0.30910781
## Elongation_Ratio	-0.54615778
## Shape_Factor	-0.66918169
## Concentration_Time_hr	0.12574975
## Length_of_Mainchannel_km	0.27366537
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.08014061
## Mean_hillslope_length_m	0.02755261
## Total_Stream_Length_km	0.27463124
## First_order_stream_frequency	0.33133675
## Drainage_Density_km_over_km2	1.00000000

El análisis de correlación entre la variable dependiente seleccionada (Densidad de Drenaje) y las demás sometidas a prueba, resultaron con índice mayor a 0.5 factor de forma (-0.669485228)

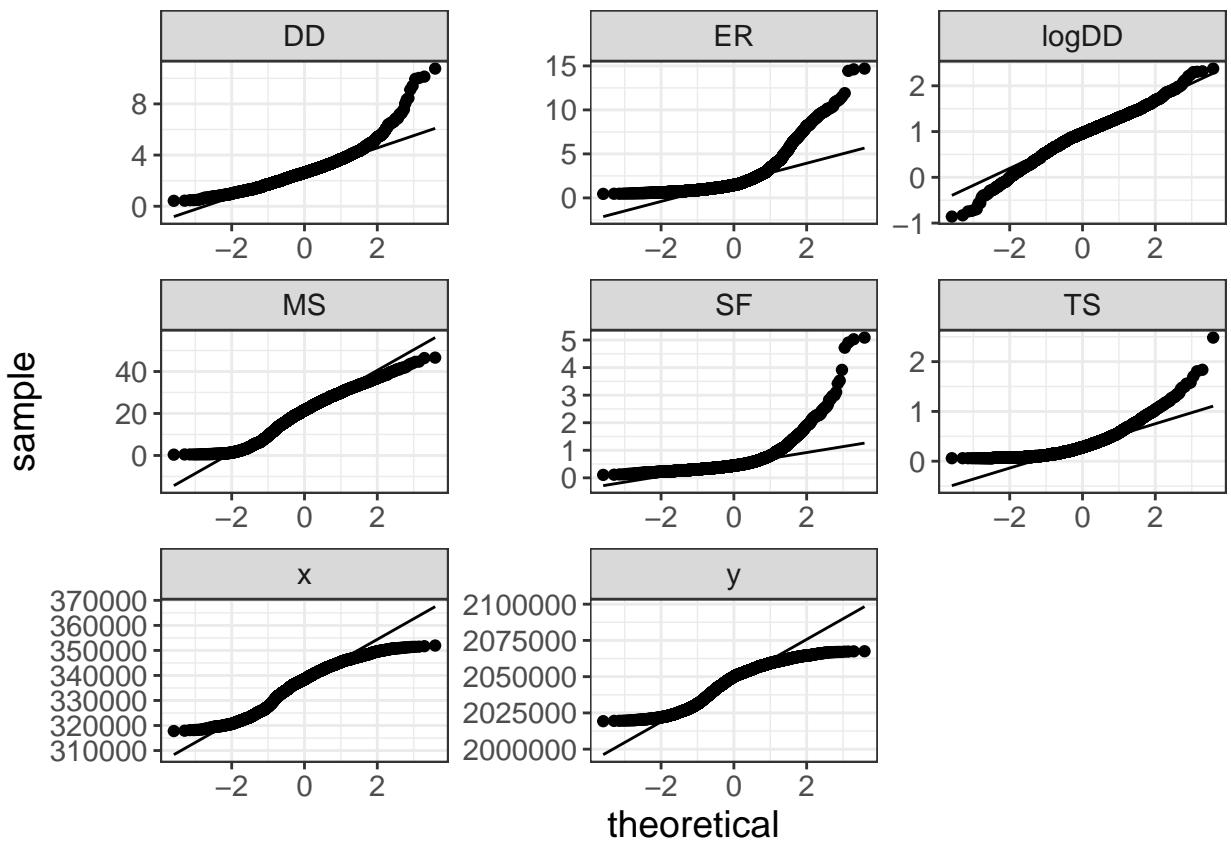
y ratio de elongación (-0.545994239). Para dar mayor robustez al modelo que se diseñó, se incorporaron las variables: pendiente promedio (-0.176066777) y longitud total del curso principal medido en km (0.274832295).

Comprobación del supuesto de distribución normal de las observaciones de las variables analizadas

La comprobación del supuesto de normalidad se hizo mediante el gráfico cuantilar de las variables donde se incluyó el ajuste logarítmico de la variable dependiente a consecuencia del sesgo evidenciado ya que se puede tolerar la no distribución normal de las independientes, no así en la dependiente.



Estadística cuantilar de variables utilizadas



Se asume como válido el supuesto de normalidad de los datos tanto en el diagrama cuantílico normal en el cual se muestra un relativo acercamiento de los puntos a una forma de la recta que representan las observaciones de cada una de las variables analizadas, como los indicadores numéricos de la prueba de Shapiro-Wilk con “p” menores a 0.05, indicando significancia y que se cumple el supuesto de distribución normal de los datos de las variables analizadas.

Selección de variable dependiente Densidad de Drenaje

```

## Warning: funs() is soft deprecated as of dplyr 0.8.0
## Please use a list of either functions or lambdas:
##
##  # Simple named list:
##  list(mean = mean, median = median)
##
##  # Auto named with 'tibble::lst()':
##  tibble::lst(mean, median)
##
##  # Using lambdas
##  list(~ mean(.., trim = .2), ~ median(.., na.rm = TRUE))
## This warning is displayed once per session.

## Warning in log(round(logDD/DD, 4) * 100): NaNs produced

## Simple feature collection with 3027 features and 30 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY

```

```

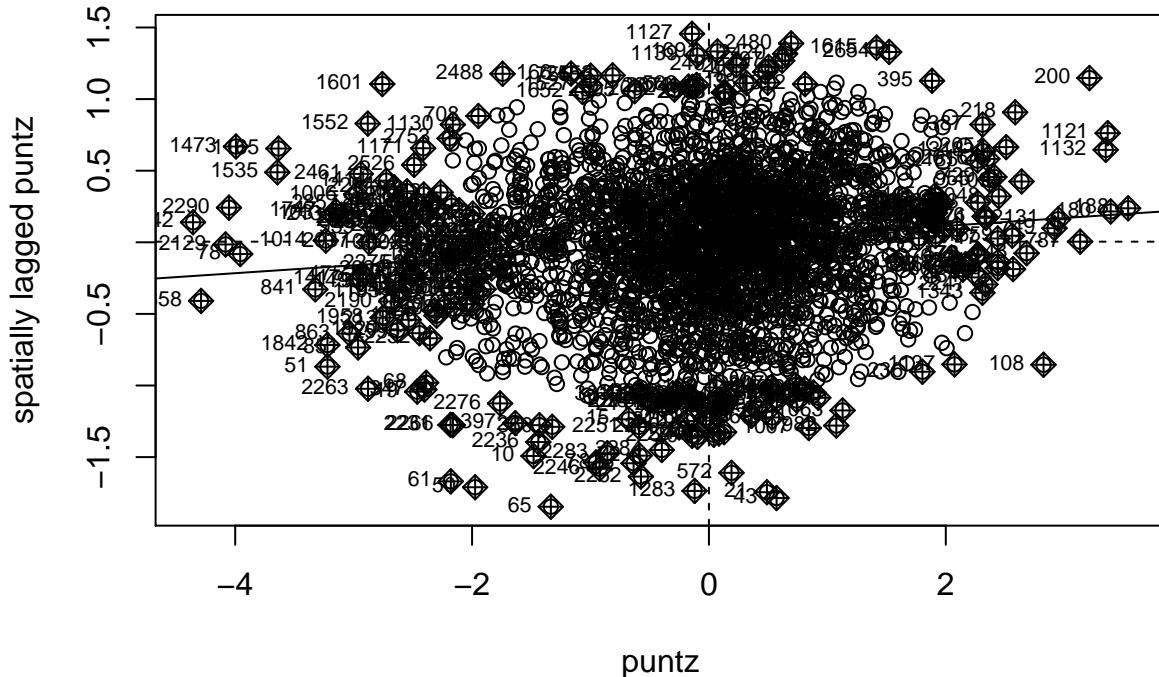
## bbox:           xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):  32619
## proj4string: +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##      fid cat value label      DD      SF      ER      TS      MS
## 1 3.0e+09  2    1      2.189137 0.4974215 1.1522986 0.5194 26.44
## 2 4.0e+09  3    3      1.317045 1.5193957 6.7526210 0.0849 31.26
## 3 5.0e+09  7    2      5.021898 0.2158705 0.8774590 0.3870 24.12
## 4 6.0e+09 11   18      3.348350 0.3116489 0.7588246 0.7191 27.12
## 5 7.0e+09  8    8      1.323741 0.9530676 3.2504695 0.1449 36.98
## 6 8.0e+09  9    4      5.407681 0.2022916 0.7547642 0.4946 23.41
## 7 9.0e+09 12   10      1.707515 0.6384885 1.5645024 0.3621 34.67
## 8 1.0e+10 14   9      1.776552 0.7101480 2.8058127 0.1449 37.30
## 9 1.1e+10 15   14      1.017378 1.2400654 3.7077166 0.1449 37.36
## 10 1.2e+10 10  13      1.376470 0.8268738 2.2012308 0.2473 30.57
##      logDD      x      y                  geometry value_PCT
## 1 0.7835072 334063.9 2067449 POLYGON ((334500 2067660, 3... 45.68
## 2 0.2753904 334582.9 2067514 POLYGON ((334500 2067390, 3... 227.78
## 3 1.6138079 334172.4 2067265 POLYGON ((334440 2067330, 3... 39.83
## 4 1.2084677 334366.4 2066754 POLYGON ((333840 2067180, 3... 537.58
## 5 0.2804618 333919.7 2066981 POLYGON ((333750 2067240, 3... 604.35
## 6 1.6878203 334365.9 2067039 POLYGON ((334380 2067240, 3... 73.97
## 7 0.5350394 333028.9 2066963 POLYGON ((332640 2067120, 3... 585.65
## 8 0.5746743 333771.9 2066901 POLYGON ((333540 2067090, 3... 506.60
## 9 0.0172283 333384.3 2066840 POLYGON ((333330 2067090, 3... 1376.09
## 10 0.3195221 332580.6 2066931 POLYGON ((332280 2067000, 3... 944.45
##      DD_PCT  SF_PCT  ER_PCT  TS_PCT  MS_PCT logDD_PCT      x_PCT      y_PCT
## 1     100    22.72   52.64   23.73  1207.78      35.79 15260075 94441321
## 2     100   115.36  512.71    6.45  2373.50      20.91 25404065 156981278
## 3     100     4.30   17.47    7.71   480.30      32.14 6654306 41165011
## 4     100     9.31   22.66   21.48   809.95      36.09 9986005 61724553
## 5     100    72.00  245.55   10.95  2793.60      21.19 25225453 156146939
## 6     100     3.74   13.96    9.15   432.90      31.21 6183166 38224128
## 7     100    37.39   91.62   21.21  2030.44      31.33 19503709 121050909
## 8     100    39.97  157.94    8.16  2099.57      32.35 18787628 116343433
## 9     100   121.89  364.44   14.24  3672.19      1.69 32768985 203153658
## 10    100    60.07  159.92   17.97  2220.90      23.21 24161853 150161743
##      value_PCTL0G  DD_PCTL0G  SF_PCTL0G  ER_PCTL0G  TS_PCTL0G  MS_PCTL0G
## 1     3.821661   4.60517   3.123246   3.963476   3.166740   7.096539
## 2     5.428380   4.60517   4.748058   6.239710   1.864080   7.772121
## 3     3.684620   4.60517   1.458615   2.860485   2.042518   6.174411
## 4     6.287078   4.60517   2.231089   3.120601   3.067122   6.696973
## 5     6.404154   4.60517   4.276666   5.503501   2.393339   7.935086
## 6     4.303660   4.60517   1.319086   2.636196   2.213754   6.070507
## 7     6.372722   4.60517   3.621403   4.517650   3.054473   7.616008
## 8     6.227722   4.60517   3.688129   5.062215   2.099244   7.649488
## 9     7.227001   4.60517   4.803119   5.898362   2.656055   8.208543
## 10    6.850603   4.60517   4.095511   5.074674   2.888704   7.705668

```

```

##      logDD_PCTLOG x_PCTLOG y_PCTLOG
## 1      3.5776685 16.54075 18.36349
## 2      3.0402275 17.05042 18.87164
## 3      3.4701014 15.71077 17.53310
## 4      3.5860158 16.11670 17.93819
## 5      3.0535294 17.04336 18.86631
## 6      3.4407386 15.63734 17.45898
## 7      3.4445761 16.78612 18.61172
## 8      3.4766140 16.74871 18.57206
## 9      0.5247285 17.30499 19.12947
## 10     3.1445832 17.00029 18.82722

```



Comprobación de supuesto de autocorrelación de la variable dependiente transformada (I de Moran Global).

Visualización porcentual de la dispersión de la Variable seleccionada Densidad de Drenaje ajustada logarítmicamente en cuatro cuadrantes.

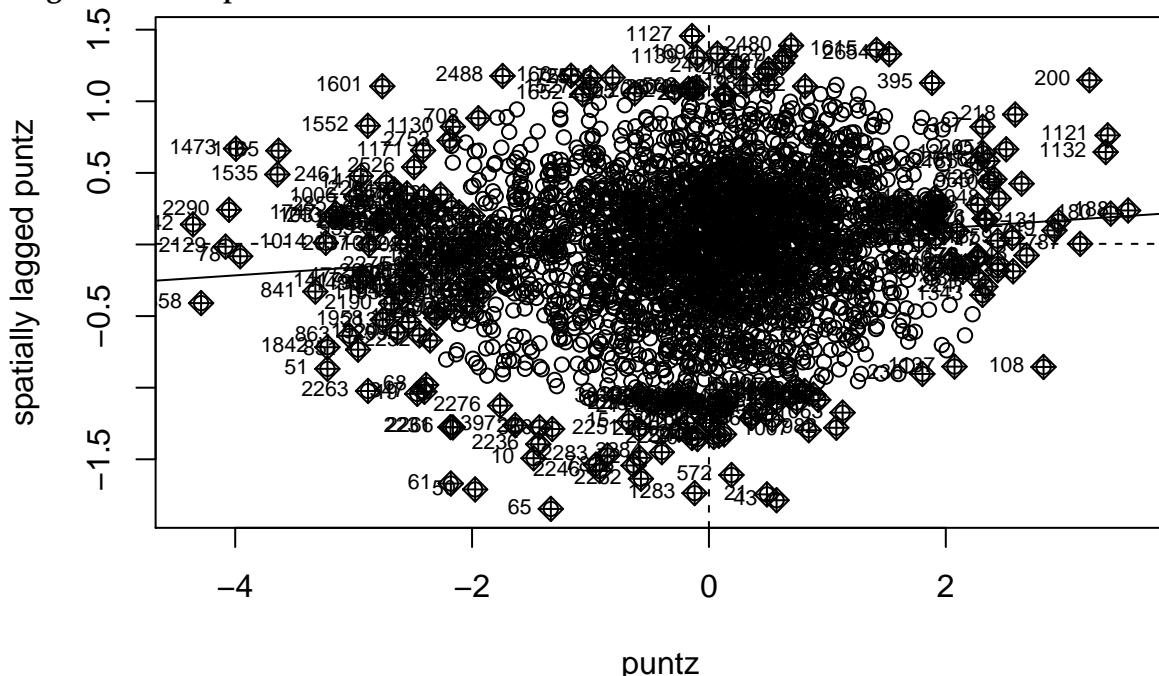
Diagrama Dispersión G. Moran

```

## Characteristics of weights list object
## Neighbour list object:
## Number of regions: 3027
## Number of nonzero links: 15135
## Percentage nonzero weights: 0.16518
## Average number of links: 5
## Non-symmetric neighbours list
##
## Weights style: W
## Weights constants summary:
##      n      nn     S0      S1      S2
## W 3027 9162729 3027 1111.88 12356.64

```

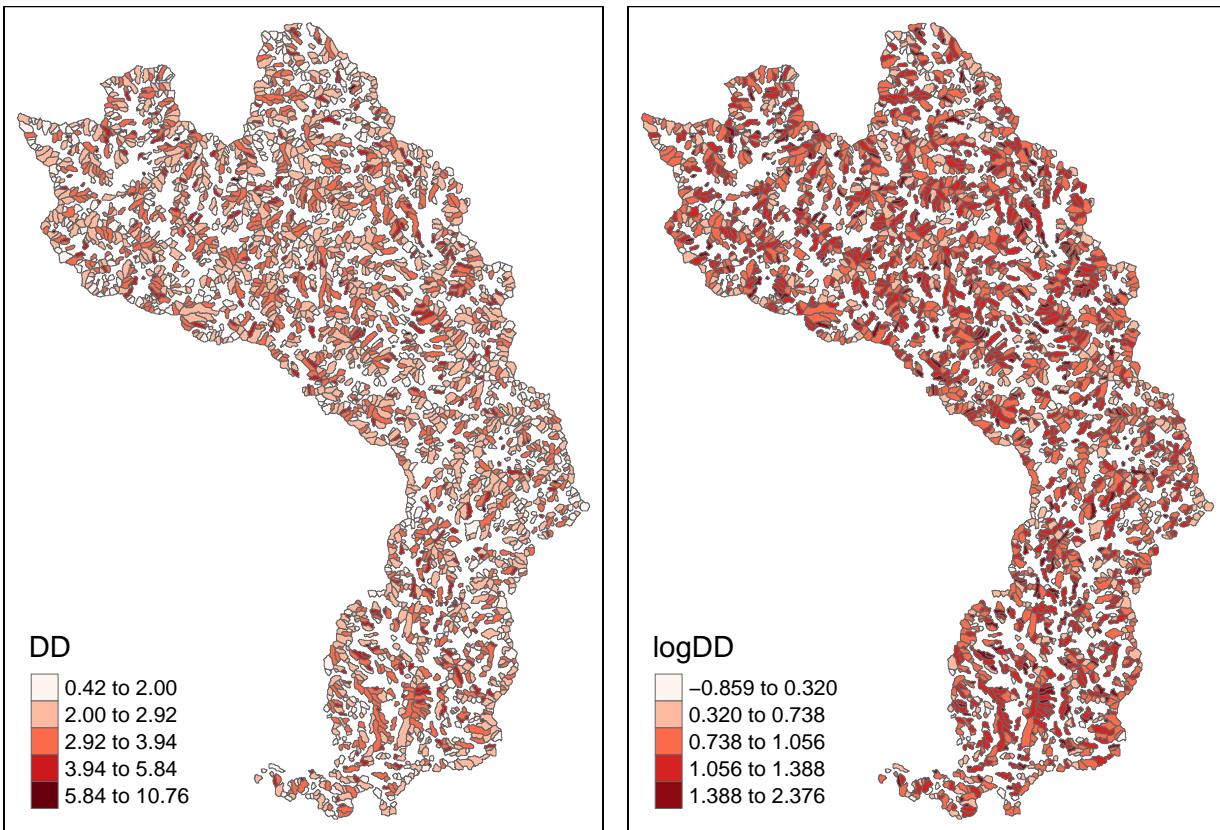
Diagrama de Dispersion Moran PesoW



```
##
## Moran I test under randomisation
##
## data: log1p(datos$Drainage_Density_km_over_km2)
## weights: Pesow
##
## Moran I statistic standard deviate = -1.2064, p-value = 0.8862
## alternative hypothesis: greater
## sample estimates:
## Moran I statistic      Expectation      Variance
##       -0.0136063144     -0.0003304693    0.0001210999
```

Se acepta preliminarmente la hipótesis nula la cual sostiene que **NO** hay autocorrelación espacial dado un valor de "p" > 0.05 (0.8862).

Variable dependiente original DD y ajustada logDD



Evaluación de la autocorrelación espacial local de la variable dependiente transformada

La aparición de parches rojos y azules indican la existencia de autocorrelación local. Los parches rojos traducen hotspots o altos valores de correlación. Los parches azules traducen coldspots e indican autocorrelación con valores bajos. Finalmente, los valores grises indican ausencia de correlación local.

Análisis de vecindad por contigüidad (vecxcont)

Resultaron 3027 regiones ya que cada observación en este caso funge como una unidad espacial independiente. La prueba de peso homogéneo de vecindad arrojó 5760 conexiones distintas de cero con un promedio de conexiones de 1.901618 para un valor porcentual de 6.28%, dos regiones con 9 conexiones y 695 regiones sin conexión alguna.

Análisis de Vecindad por cantidad de los 5 vecinos más cercanos

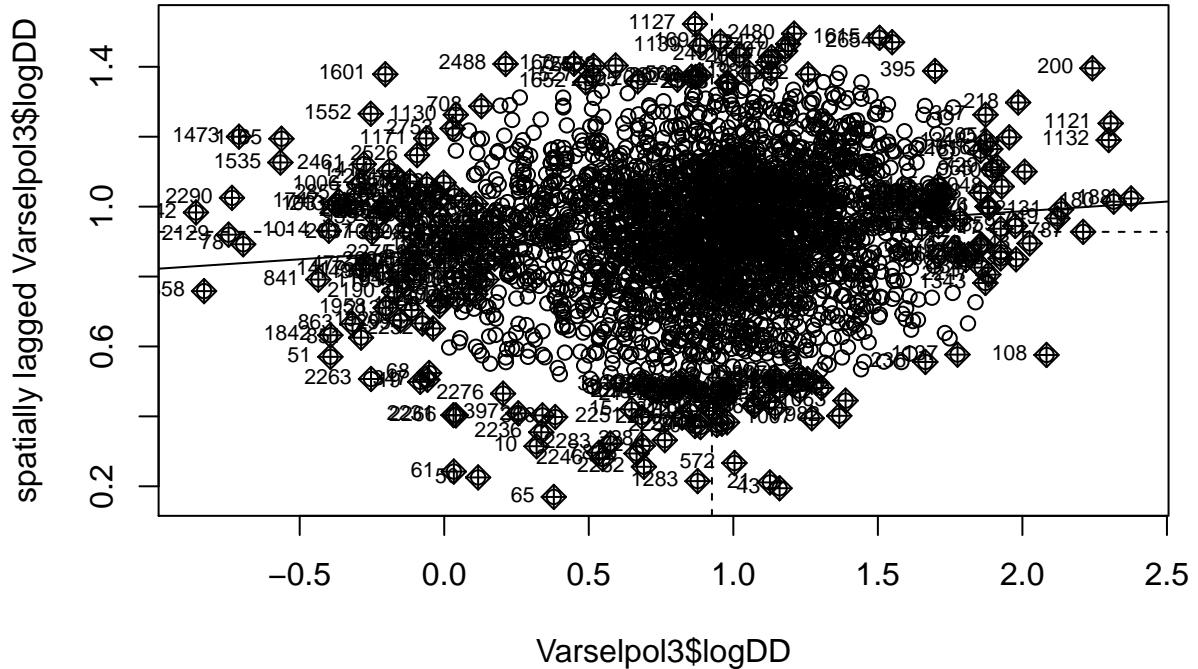
Los valores de la data completa y la de los 5 vecinos más cercanos ya que cada observación corresponde a una unidad espacial, es decir, absolutamente todas las observaciones son vecinos entre si (`In knearneigh(coords, k=5) : knearneigh: identical points found`).

Análisis de Vecindad por peso de observaciones vecinas en Varselpol3

Por tratarse de un espacio geográfico limitado cuyas unidades espaciales (microcuencas) corresponden a las mismas observaciones puntuales, los valores de conexiones y vecindades no difieren mucho en las diferentes combinaciones de vecindad examinadas. En este caso el número de regiones sigue siendo 3027. Las conexiones diferentes de cero son 15145, el porcentaje de conexiones no cero es 16.5% y el promedio de conexiones es de 5.

9 MODELIZACION

Visualización porcentual de la dispersión de la Variable seleccionada Densidad de Drenaje ajustada logarítmicamente en cuatro cuadrantes



Comprobación del Supuesto de Autocorrelación mediante la Prueba de Moran Global:

El valor de "p" es mayor a 0.05 (valor comúnmente establecido), se acepta la hipótesis nula "No hay autocorrelación espacial global" con sus vecinos en la variable dependiente en su versión original. Aunque el sistema de cuenta de la aceptación de la misma (alternative hypothesis: greater).

```

## Moran I test under randomisation
##
## data: log1p(datos$Drainage_Density_km_over_km2)
## weights: PesowB
##
## Moran I statistic standard deviate = -1.2064, p-value = 0.8862
## alternative hypothesis: greater
## sample estimates:
## Moran I statistic      Expectation      Variance
## -0.0136063144 -0.0003304693 0.0001210999

##
## Moran I test under randomisation
##
## data: Varselpctlog$logDD_PCT
## weights: PesowB
##
## Moran I statistic standard deviate = -0.20036, p-value = 0.5794
## alternative hypothesis: greater

```

```

## sample estimates:
## Moran I statistic      Expectation      Variance
##      -0.0024973085     -0.0003304693     0.0001169561

```

En el caso de la prueba de los supuestos de autocorrelación de la variable tanto por contigüidad como por peso coinciden por la misma causa que en el análisis de vecindad en entidades poligonales, las unidades espaciales (microcuenca) son los mismos puntos de observación, es decir, tenemos tantos modelos como puntos de observación en el análisis.

Hipótesis alternativa

El valor de “p” es menor a 0.05 (valor comunmente establecido), se rechaza la hipótesis nula “No hay autocorrelación espacial global” con sus vecinos respecto a la variable porcentual ajustada por logaritmo.

Correlación de Moral local de la variable Logarítmica

Comprobación del supuesto de normalidad (shapiro-wilk)

```

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: Varselpctlog$logDD_PCT
## W = 0.33179, p-value < 2.2e-16

```

El valor de “p” es menor a 0.05 (2.2e-16), se rechaza la hipótesis nula “No hay distribución normal”, en otras palabras se acepta la hipótesis alternativa “Existe distribución normal de las observaciones de la variable analizada(Varselpctlog\$logDD_PCT)”.

```

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: Varselpctlog$logDD_PCTLOG
## W = 0.37252, p-value < 2.2e-16

```

El valor de “p” es menor a 0.05 (2.2e-16), se rechaza la hipótesis nula “No hay distribución normal”, en otras palabras se acepta la hipótesis alternativa “Existe distribución normal de las observaciones de la variable analizada(Varselpctlog\$logDD_PCTLOG)”. En síntesis, se cumple el supuesto de normalidad en ambas versiones de la variable dependiente del modelo analizado.

Comprobación de supuesto de heterocedasticidad (prueba de Breusch-Pagan)

```

##
## Call:
## lm(formula = logDD ~ ., data = .)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.48090 -0.13441 -0.03593  0.08960  2.48258
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) 1.3355070  0.0139626 95.649 < 2e-16 ***
## TS          0.2364021  0.0194249 12.170 < 2e-16 ***

```

```

## MS          -0.0027199  0.0003979  -6.835 9.85e-12 ***
## SF          -1.3103680  0.0240590  -54.465 < 2e-16 ***
## ER          0.1482183  0.0062693   23.642 < 2e-16 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ',' 1
##
## Residual standard error: 0.2045 on 3022 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7511, Adjusted R-squared:  0.7507
## F-statistic:  2279 on 4 and 3022 DF,  p-value: < 2.2e-16

##
## Call:
## lm(formula = logDD_PCTLLOG ~ ., data = .)
##
## Residuals:
##    Min      1Q  Median      3Q     Max
## -5.8010 -0.0488  0.0511  0.1056  0.4639
##
## Coefficients: (1 not defined because of singularities)
##                 Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  2.333195  32.050951  0.073  0.94197
## value_PCTLLOG 0.016642  0.006338  2.626  0.00869 **
## DD_PCTLLOG        NA        NA        NA        NA
## SF_PCTLLOG       3.054474 13.128693  0.233  0.81604
## ER_PCTLLOG      -3.523054 13.124042 -0.268  0.78838
## TS_PCTLLOG      -1.779470  6.562320 -0.271  0.78628
## MS_PCTLLOG       0.010921  0.007138  1.530  0.12612
## x_PCTLLOG        0.080123  0.226237  0.354  0.72325
## y_PCTLLOG        0.524177  0.256973  2.040  0.04146 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ',' 1
##
## Residual standard error: 0.2652 on 2949 degrees of freedom
## (70 observations deleted due to missingness)
## Multiple R-squared:  0.2786, Adjusted R-squared:  0.2769
## F-statistic: 162.7 on 7 and 2949 DF,  p-value: < 2.2e-16

##
## studentized Breusch-Pagan test
##
## data: .
## BP = 83.112, df = 7, p-value = 3.189e-15

```

El valor de “p” es menor a 0.05 (3.189e-15), en la prueba de Breuch-Pagan tiene como hipótesis nula “Hay homocedasticidad”, en otras palabras se acepta la hipótesis alternativa “Existe heterocedasticidad” las observaciones de las variables analizadas en el modelo lineal con la versión de ajuste logarítmico de la variable dependiente.

```

9.1 Análisis del modelo lineal**
## 
## Call:
## lm(formula = logDD ~ ., data = .)
## 
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -0.48090 -0.13441 -0.03593  0.08960  2.48258
## 
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)    
## (Intercept) 1.3355070  0.0139626 95.649 < 2e-16 ***
## TS          0.2364021  0.0194249 12.170 < 2e-16 ***
## MS          -0.0027199  0.0003979 -6.835 9.85e-12 ***
## SF          -1.3103680  0.0240590 -54.465 < 2e-16 ***
## ER          0.1482183  0.0062693  23.642 < 2e-16 ***
## ---      
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ',' 1
## 
## Residual standard error: 0.2045 on 3022 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.7511, Adjusted R-squared:  0.7507 
## F-statistic: 2279 on 4 and 3022 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Todos los coeficientes de las variables del modelo han resultado significativas ($p<0.05$) y el R cuadrado ajustado del modelo indica que las variables independientes analizadas explican en un 75.07% a la variable dependiente Dendidad de drenaje. Por otro lado, si el valor de las independientes fuera cero, la variable dependiente tomaría el valor 1.3355070 (intercepto).

Las demás pruebas correspondientes al mismo modelo lineal utilizando versiones transformadas de las variables(% y Log e) resultaron no significativos, es decir, las variables independientes analizadas no logran explicar el comportamiento de la variable dependiente, en tanto, no resultan útiles para la predicción de escenarios de la Densidad de Drenaje de la cuenca del Río Ocoa.

10 Modelo lineal común, utilizando las versiones transformadas de las variables

```

## 
## Call:
## lm(formula = logDD_PCTLLOG ~ ., data = .)
## 
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -5.8010 -0.0488  0.0511  0.1056  0.4639
## 
## Coefficients: (1 not defined because of singularities)
##             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)    
## (Intercept) 2.333195  32.050951  0.073  0.94197  
## value_PCTLLOG 0.016642  0.006338   2.626  0.00869 ** 

```

```

## DD_PCTLLOG      NA      NA      NA      NA
## SF_PCTLLOG     3.054474 13.128693  0.233  0.81604
## ER_PCTLLOG    -3.523054 13.124042 -0.268  0.78838
## TS_PCTLLOG    -1.779470  6.562320 -0.271  0.78628
## MS_PCTLLOG     0.010921  0.007138  1.530  0.12612
## x_PCTLLOG      0.080123  0.226237  0.354  0.72325
## y_PCTLLOG      0.524177  0.256973  2.040  0.04146 *
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.2652 on 2949 degrees of freedom
##   (70 observations deleted due to missingness)
## Multiple R-squared:  0.2786, Adjusted R-squared:  0.2769
## F-statistic: 162.7 on 7 and 2949 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Prueba de Breush Pagan del modelo lineal la variable logarítmica transformada

```

##
## studentized Breusch-Pagan test
##
## data: .
## BP = 83.112, df = 7, p-value = 3.189e-15

```

11 Análisis del modelo espacial autoregresivo (SAR)

```

##
## Call: spautolm(formula = logDD_PCTLLOG ~ ., data = ., listw = Pesow)
##
## Residuals:
##       Min        1Q      Median        3Q       Max
## -5.788417 -0.048925  0.051674  0.106056  0.469856
##
## Coefficients:
##   (1 not defined because of singularities)
##             Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) 1.9044081 31.9519406  0.0596  0.95247
## value_PCTLLOG 0.0162723  0.0066833  2.4348  0.01490
## DD_PCTLLOG      NA      NA      NA      NA
## SF_PCTLLOG     2.8840633 13.0874847  0.2204  0.82558
## ER_PCTLLOG    -3.3535908 13.0828255 -0.2563  0.79769
## TS_PCTLLOG    -1.6955321  6.5417008 -0.2592  0.79549
## MS_PCTLLOG     0.0110922  0.0074381  1.4913  0.13589
## x_PCTLLOG      0.0857658  0.2387982  0.3592  0.71948
## y_PCTLLOG      0.5205009  0.2677977  1.9436  0.05194
##
## Lambda: 0.055236 LR test value: 3.4252 p-value: 0.064209
## Numerical Hessian standard error of lambda: 0.040136
##
```

```

## Log likelihood: -265.6079
## ML residual variance (sigma squared): 0.070035, (sigma: 0.26464)
## Number of observations: 2957
## Number of parameters estimated: 10
## AIC: 551.22

```

11.1 *Análisis del modelo espacial autoregresivo (SAR) con el porcentaje logarítmico de las variables con radio de elongación*

```

##
## Call:
## spautolm(formula = logDD_PCTLLOG ~ TS_PCTLLOG + MS_PCTLLOG + SF_PCTLLOG +
##           ER_PCTLLOG, data = ., listw = Pesow)
##
## Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -5.804683 -0.054166  0.053495  0.120415  0.371207
##
## Coefficients:
##             Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) 27.7761803 31.7597450  0.8746  0.3818
## TS_PCTLLOG -4.8872312  6.5529974 -0.7458  0.4558
## MS_PCTLLOG  0.0094571  0.0066620  1.4195  0.1557
## SF_PCTLLOG  9.6571365 13.1034848  0.7370  0.4611
## ER_PCTLLOG -9.8523852 13.1034913 -0.7519  0.4521
##
## Lambda: 0.06329 LR test value: 4.5485 p-value: 0.032948
## Numerical Hessian standard error of lambda: 0.029943
##
## Log likelihood: -282.6669
## ML residual variance (sigma squared): 0.070836, (sigma: 0.26615)
## Number of observations: 2957
## Number of parameters estimated: 7
## AIC: 579.33

```

Ninguna de las variables independientes resultó significativa (todos los Pr resultaron mayores de 0.05) para explicar la variable dependiente.

11.2 *Análisis del modelo espacial autoregresivo (SAR) con las variables de porcentaje logarítmico sin radio de elongación*

```

##
## Call:
## spautolm(formula = logDD_PCTLLOG ~ TS_PCTLLOG + MS_PCTLLOG + SF_PCTLLOG,
##           data = ., listw = Pesow)
##
## Residuals:
## 
```

```

##      Min       1Q    Median      3Q      Max
## -5.806072 -0.053655  0.054242  0.120115  0.367763
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) 3.8963547  0.0389584 100.0132 < 2.2e-16
## TS_PCTLOG   0.0398969  0.0077097   5.1749 2.281e-07
## MS_PCTLOG   0.0095269  0.0066632   1.4298  0.1528
## SF_PCTLOG  -0.1952446  0.0069732 -27.9991 < 2.2e-16
##
## Lambda: 0.063486 LR test value: 4.5767 p-value: 0.03241
## Numerical Hessian standard error of lambda: 0.029449
##
## Log likelihood: -282.9495
## ML residual variance (sigma squared): 0.070849, (sigma: 0.26617)
## Number of observations: 2957
## Number of parameters estimated: 6
## AIC: 577.9

```

Solo la variable mean slope en su versión porcentual logarítmica (MA_PCTLOG) no es significativa para explicar la variable dependiente ($P>0.05$), adicionalmente la variable independiente factor de forma (SF_PCTLOG) presenta correlación negativa o inversa sobre la densidad de drenaje (-0.1952446). En ambos modelos SAR, el AIC (akaike information criterion) resultó significativamente alto, ya que debe ser cercano a cero.

12 GEOESTADISTICA Y DATOS PUNTUALES

12.1 Kriging

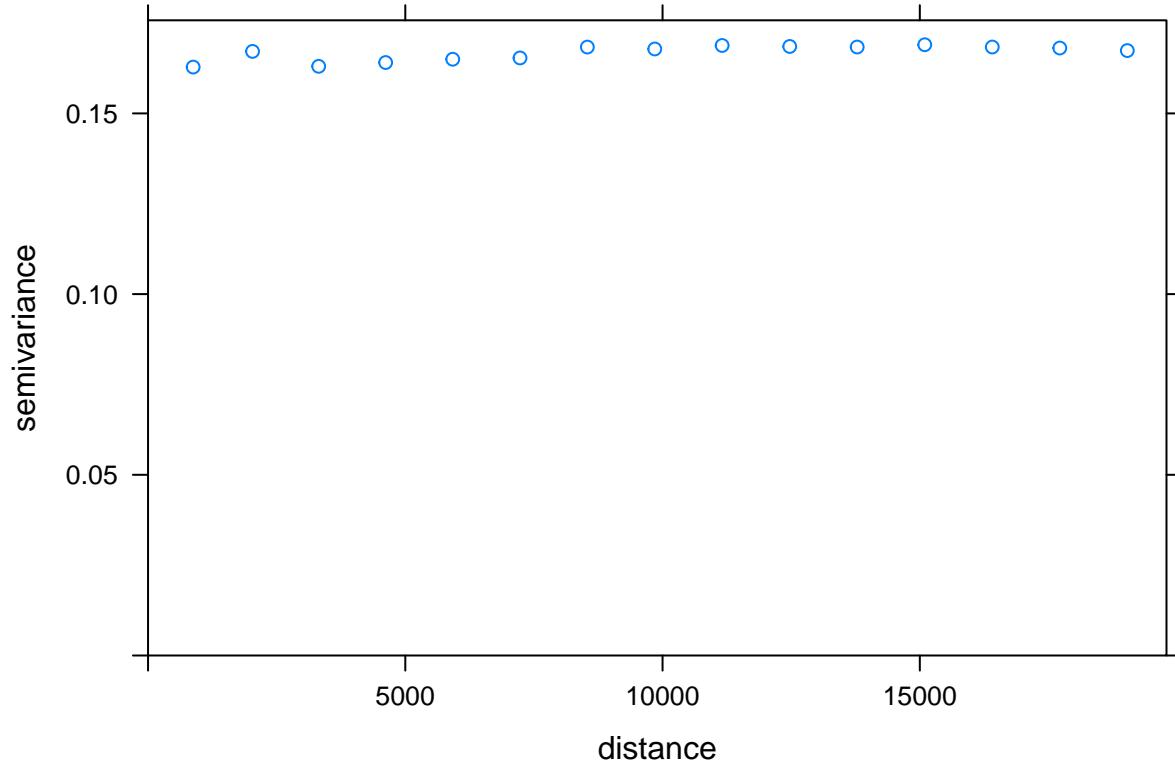
El kriging es un método geoestadístico basado en la teoría de variables regionalizadas. Consiste en establecer la interpolación óptima entre los puntos de un interpolador local a la vez que cumple con los supuestos resaltados por Olaya (2011), en el caso de kriging ordinario:

1. Normalidad de la distribución de los datos de la variable interpolada
2. Media y varianza constantes a lo largo del área interpolada.
3. Covarianza solo en dependencia de la distancia entre puntos.
4. Autocorrelación significativa
5. Error mínimo de predicción
6. Pesos cercanos mayores que los lejanos
7. La presencia de un punto cercano en una dirección dada debe restar influencia a puntos en la misma dirección, pero más lejanos.
8. Puntos muy cercanos con valores muy similares deben agruparse de forma que no aparezca sesgo por sobre muestreo.
9. La estimación del error debe hacerse en función de la estructura de los puntos (ubicación), no de los valores.

El primer paso para iniciar la interpolación es la definición del sistema de coordenadas destino para nuestro modelo, en nuestro caso usaremos WGS84 UTM Zona 19 (EPSG:32619) como se había mencionado anteriormente.

Creamos el objeto orden1logdd que es el resultado de la variable transformada logDD.
Luego creamos el objeto v para representar el variograma.

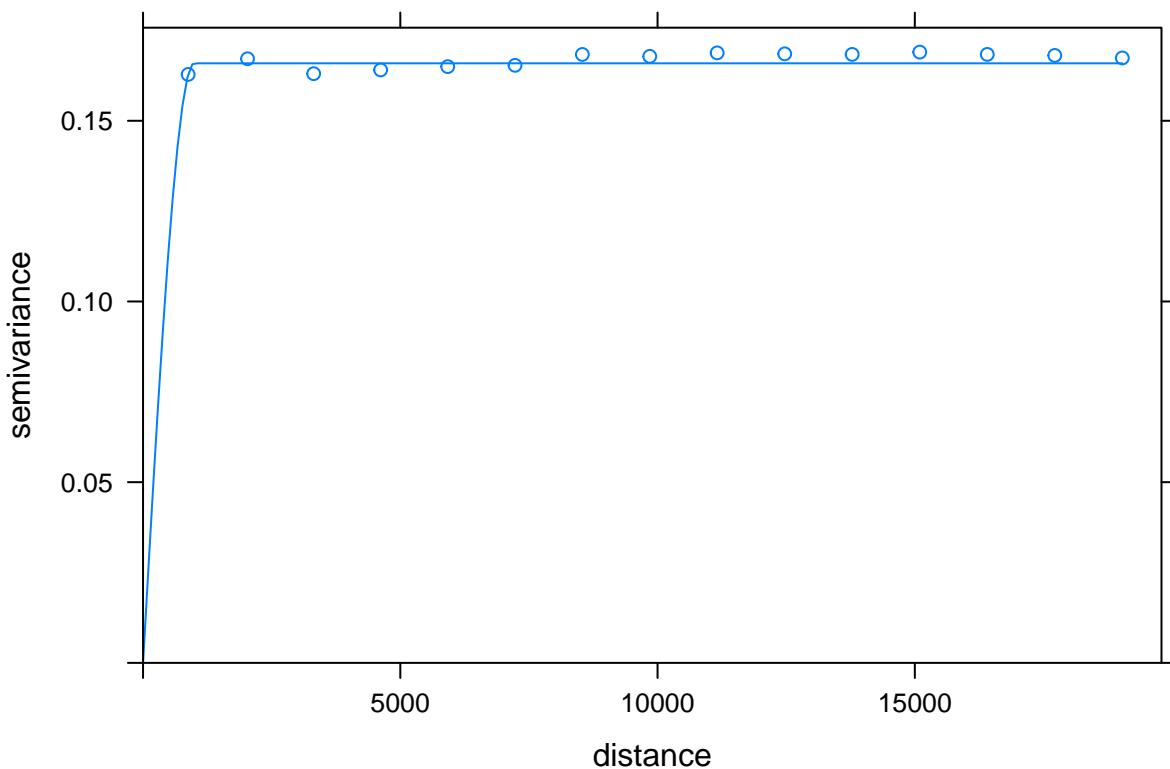
```
plot(v)
```



Después de tener nuestro objeto creado para representar el variograma, prodecemos a la creación de los variogramas modelo esférico, exponencial y gauseano.

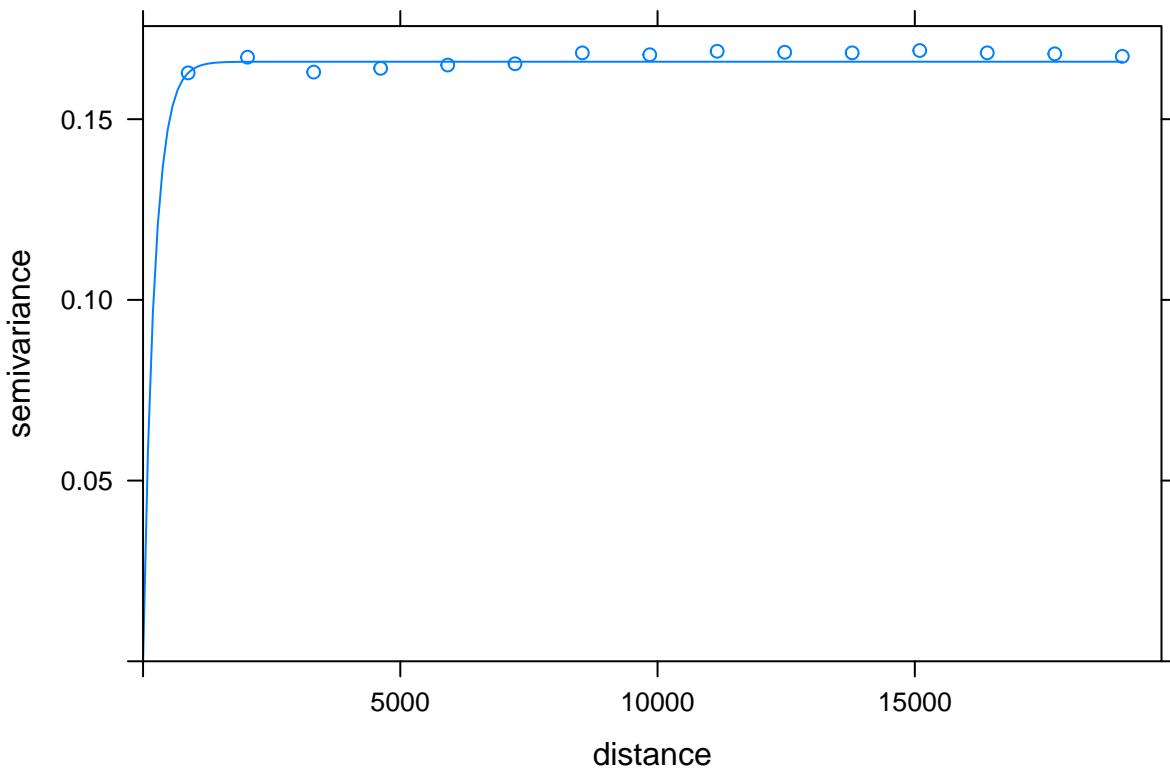
Variograma Modelo Esférico

```
plot(v, v_m)
```



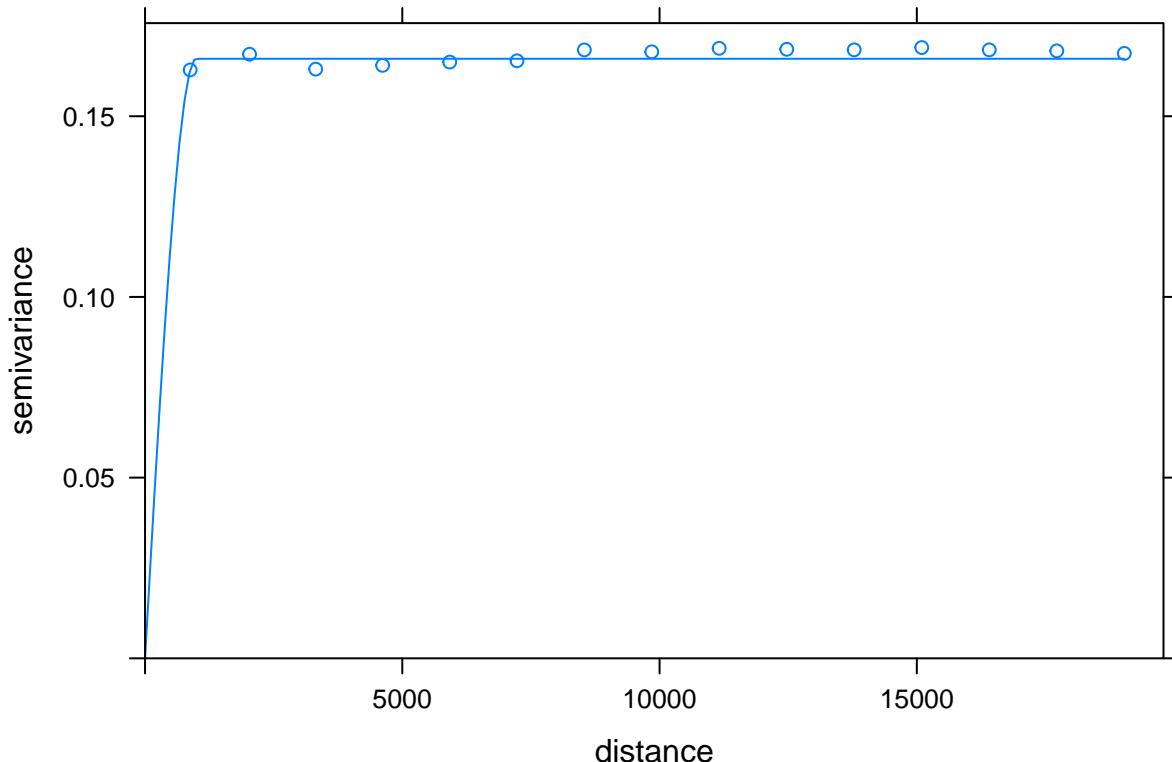
Variograma Modelo Exponencial

```
plot(v, v_m2)
```



Variograma Modelo Gauseano

```
plot(v, v_m)
```



Podemos notar que los variogramas generados no presentan un patrón autocorrelacionado significativo, puesto que la semivarianza no aumenta gradualmente, de acuerdo al supuesto de autorrelación significativo.

En este sentido, procedimos a la verificación de error de predicción de variogramas para elegir el que tenga menos error.

```
attr(v_m, 'SSErr') # Esférico
```

```
## [1] 2.496814e-07
```

```
attr(v_m2, 'SSErr') # Exponencial
```

```
## [1] 2.505845e-07
```

```
attr(v_m3, 'SSErr') # Gauseano
```

```
## [1] 6.398799e-07
```

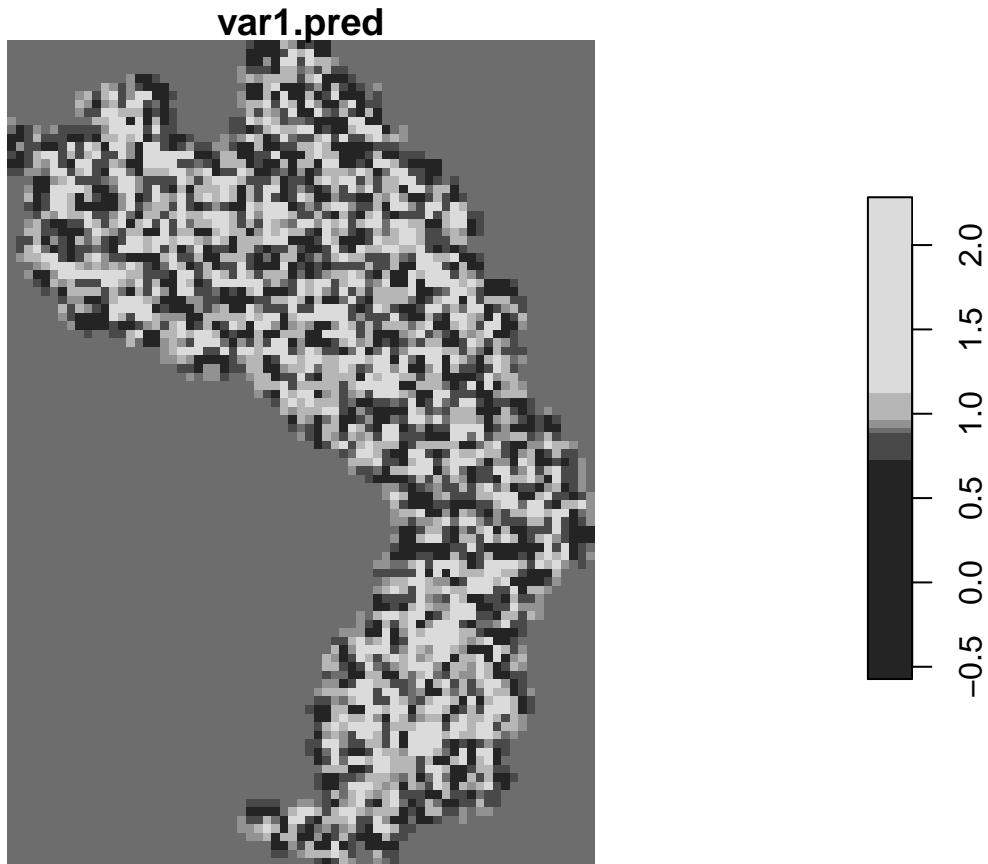
Luego de los resueltos obtenidos y atendiendo al supuesto de error mínimo de predicción, se eligió el modelo esférico con un error de 2.496814e-07 .

Teniendo el elegido el modelo a utilizar, procedimos a la definición del cuadrante de la cuenca río Ocoa para la interpolación.

12.2 Kriging Ordinario

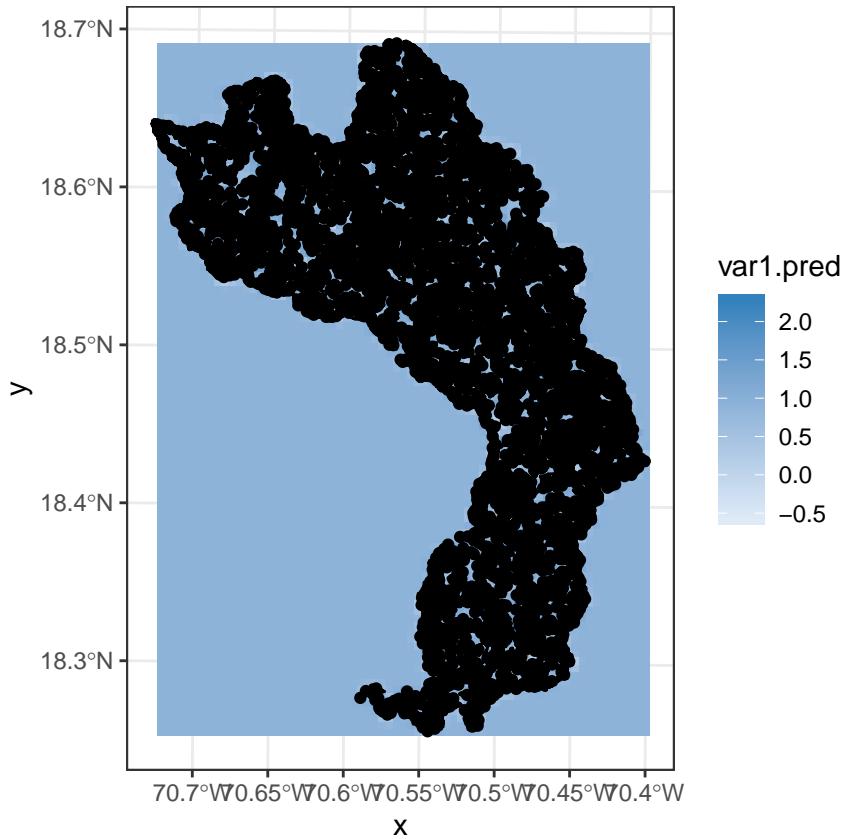
Para hacer la interpolación a través del kriging ordinario mediante la función krige

```
plot(k)
```

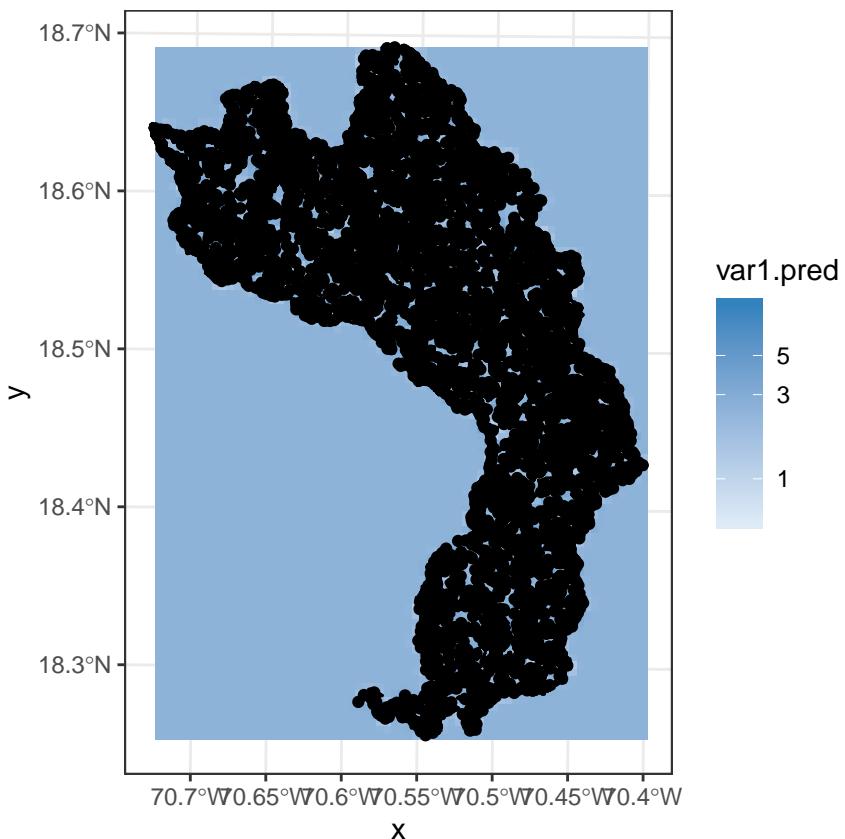


12.3 Utilicemos ggplot para representar el objeto stars.

```
ggplot() +  
  geom_stars(data = k, aes(fill = var1.pred, x = x, y = y)) +  
  scale_fill_gradient(low="#deebf7", high="#3182bd") +  
  geom_sf(data = st_cast(Varselpol3, "MULTILINESTRING")) +  
  geom_sf(data = orden1logdd) +  
  geom_sf_text(data = Varselpol3, aes(label=''), check_overlap = T, size = 0.5) +  
  theme_bw()
```



```
ggplot() +
  geom_stars(data = exp(k), aes(fill = var1.pred, x = x, y = y)) +
  scale_fill_gradient(low="#deebf7", high="#3182bd", trans = 'log10') +
  geom_sf(data = st_cast(Varselpol3, "MULTILINESTRING")) +
  geom_sf(data = orden1logdd) +
  geom_sf_text(data = Varselpol3, aes(label=''), check_overlap = T, size = 0.5) +
  theme_bw()
```



Al realizar la interpolación del mapa de la cuenca río Ocoa, se pudo observar una distribución homogénea de la variable seleccionada densidad de drenaje en toda el área de estudio (ver figura var1.pred).

...

13 Información de soporte

Material de Apoyo incluido en el repositorio de la maestría Teledetección y Ciencias de la Información Geográfica. Asesoría con el profesor José Ramón Martínez.

...

14 Script reproducible

15 LIBRERIAS A UTILIZAR

```
library(sf)
library(tidyverse)
library(gstat)
library(stars)
library(tmap)
library(ez)
library(RColorBrewer)
library (sp)
```

```

library(spdep)
library(lmtest)
library(spData)
library(spatialreg)
library(knitr)
source('lisaclusters.R')

```

IMPORTACION, ORGANIZACION DE DATOS E INTERPORABILIDAD

16 Cargar datos de variables

```
(datos <- st_read('paramsoutlet_orden1.gpkg', crs = 32619))
```

```

## Reading layer 'paramsoutlet_orden1' from data source '/home/yoenn/unidad-0-asignacion-99-mi-p
## Simple feature collection with 3029 features and 32 fields
## geometry type:  POINT
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317775 ymin: 2019315 xmax: 351945 ymax: 2067525
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs

## Simple feature collection with 3029 features and 32 fields
## geometry type:  POINT
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317775 ymin: 2019315 xmax: 351945 ymax: 2067525
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##   subbasin.ID RectangleContaining_basin_N_W
## 1 /order1basin1000 ('332370', '2055210')
## 2 /order1basin1001 ('321090', '2055210')
## 3 /order1basin1002 ('321180', '2055270')
## 4 /order1basin1003 ('334800', '2055000')
## 5 /order1basin1004 ('342630', '2054850')
## 6 /order1basin1005 ('329820', '2055270')
## 7 /order1basin1006 ('335190', '2054820')
## 8 /order1basin1007 ('336780', '2054820')
## 9 /order1basin1009 ('327690', '2054880')
## 10 /order1basin100 ('324540', '2065080')
##   RectangleContaining_basin_S_E Area_of_basin_km2 Perimeter_of_basin_km
## 1 ('333060', '2054550') 0.2291625 2.2240054
## 2 ('321270', '2054820') 0.0452250 1.0242641
## 3 ('321690', '2054790') 0.1697625 1.8348885
## 4 ('335160', '2054790') 0.0443250 0.9715433
## 5 ('342900', '2054670') 0.0281250 0.7666905
## 6 ('330150', '2054790') 0.0914625 1.3724621

```

```

## 7      ('335550', '2054160')      0.1017000      1.7661017
## 8      ('337230', '2054190')      0.1937250      1.8582338
## 9      ('328200', '2054610')      0.0767250      1.3636753
## 10     ('325020', '2063940')      0.3344625      3.0609903
##   Max_Elevation Min_Elevation Elevation_Difference Mean_Elevation
## 1    1265.470    1053.700        211.770      1145.6620
## 2    1537.031    1276.934        260.097      1393.4840
## 3    1622.275    1292.326        329.949      1486.4480
## 4    1187.114    1023.730        163.384      1110.6510
## 5    571.791     527.592         44.199      542.5508
## 6    829.274     760.542         68.732      798.5983
## 7    1349.194    1015.026        334.168      1182.4160
## 8    1022.694    730.338         292.356      893.6440
## 9    1157.580    882.936         274.644      1029.6930
## 10   2132.003    1476.494        655.509      1834.1150
##   Mean_Slope Length_of_Directing_Vector_km
## 1    21.00          0.2410021
## 2    33.45          0.2016978
## 3    34.06          0.2696702
## 4    26.70          0.1891084
## 5    9.11           0.1346180
## 6    7.96           0.2725472
## 7    26.90          0.3349657
## 8    28.07          0.3304573
## 9    24.09          0.2410021
## 10   32.20          0.6316661
##   Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw Compactness_Coefficient
## 1                      0.128986974      4.117267
## 2                      1.113800504      4.268424
## 3                      1.105490345      3.946697
## 4                      0.328439418      4.089618
## 5                      0.453681162      4.051527
## 6                      1.464190947      4.021831
## 7                      1.103143399      4.907951
## 8                      1.476848780      3.741558
## 9                      0.004149354      4.363023
## 10                     1.524869849      4.690652
##   Circularity_Ratio Topological_Diameter Elongation_Ratio Shape_Factor
## 1      0.5822128            1       1.5446291      0.6553012
## 2      0.5417071            1       5.6559830      1.0659635
## 3      0.6336249            1       2.1397239      0.7813103
## 4      0.5901118            1       5.5994217      1.0447503
## 5      0.6012599            1       2.6127893      0.3883252
## 6      0.6101719            1       8.0434125      2.1557918
## 7      0.4097315            1       1.5665487      0.4427406
## 8      0.7050093            1       1.2122047      0.4728395
## 9      0.5184714            1       1.5257437      0.3745372
## 10     0.4485733            1       0.7526919      0.3857766

```

```

##      Concentration_Time_hr Length_of_Mainchannel_km
## 1          0.20953664          0.34970563
## 2          0.07086383          0.04242641
## 3          0.13584250          0.21727922
## 4          0.08857840          0.04242641
## 5          0.14655398          0.07242641
## 6          0.19198992          0.04242641
## 7          0.11078724          0.22970563
## 8          0.17363639          0.40970563
## 9          0.10674763          0.20485281
## 10         0.17643437          0.86698485
##      Mean_slope_of_mainchannel_percent Mean_hillslope_length_m Magnitudo
## 1                  20.196890           1325             1
## 2                  53.428988            753             1
## 3                  58.152675            534             1
## 4                  28.680251           1576             1
## 5                  7.401385            4015             1
## 6                  3.493107            2846             1
## 7                  43.676110           1303             1
## 8                  34.166123            2354             1
## 9                  59.278371           1714             1
## 10                 54.572867             49              1
##      Max_order_Strahler Number_of_streams Total_Stream_Length_km
## 1                  1                   1           0.3921
## 2                  1                   1           0.0849
## 3                  1                   1           0.2597
## 4                  1                   1           0.0849
## 5                  1                   1           0.1024
## 6                  1                   1           0.0724
## 7                  1                   1           0.2597
## 8                  1                   1           0.4521
## 9                  1                   1           0.2349
## 10                 1                   1           0.9094
##      First_order_stream_frequency Drainage_Density_km_over_km2
## 1                  4.363716           1.7110129
## 2                  22.111664          1.8772803
## 3                  5.890582           1.5297843
## 4                  22.560632          1.9153976
## 5                  35.555556          3.6408889
## 6                  10.933443          0.7915812
## 7                  9.832842           2.5535890
## 8                  5.161956           2.3337205
## 9                  13.033561          3.0615836
## 10                 2.989872           2.7189894
##      Bifurcation_Ratio_Horton Length_Ratio_Horton Area_ratio_Horton
## 1                      NA                  NA                  NA
## 2                      NA                  NA                  NA
## 3                      NA                  NA                  NA

```

```

## 4 NA NA NA
## 5 NA NA NA
## 6 NA NA NA
## 7 NA NA NA
## 8 NA NA NA
## 9 NA NA NA
## 10 NA NA NA
## Slope_ratio_Horton optional geom
## 1 NA TRUE POINT (332685 2054895)
## 2 NA TRUE POINT (321165 2055015)
## 3 NA TRUE POINT (321435 2055075)
## 4 NA TRUE POINT (334965 2054895)
## 5 NA TRUE POINT (342765 2054775)
## 6 NA TRUE POINT (329985 2055075)
## 7 NA TRUE POINT (335355 2054505)
## 8 NA TRUE POINT (336975 2054475)
## 9 NA TRUE POINT (327945 2054775)
## 10 NA TRUE POINT (324735 2064585)

(datos <- datos %>% st_difference())

## Simple feature collection with 3027 features and 32 fields
## geometry type:  POINT
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317775 ymin: 2019315 xmax: 351945 ymax: 2067525
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##       subbasin.ID RectangleContaining_basin_N_W
## 1 /order1basin1000 ('332370', '2055210')
## 2 /order1basin1001 ('321090', '2055210')
## 3 /order1basin1002 ('321180', '2055270')
## 4 /order1basin1003 ('334800', '2055000')
## 5 /order1basin1004 ('342630', '2054850')
## 6 /order1basin1005 ('329820', '2055270')
## 7 /order1basin1006 ('335190', '2054820')
## 8 /order1basin1007 ('336780', '2054820')
## 9 /order1basin1009 ('327690', '2054880')
## 10 /order1basin100 ('324540', '2065080')
##       RectangleContaining_basin_S_E Area_of_basin_km2 Perimeter_of_basin_km
## 1 ('333060', '2054550') 0.2291625 2.2240054
## 2 ('321270', '2054820') 0.0452250 1.0242641
## 3 ('321690', '2054790') 0.1697625 1.8348885
## 4 ('335160', '2054790') 0.0443250 0.9715433
## 5 ('342900', '2054670') 0.0281250 0.7666905
## 6 ('330150', '2054790') 0.0914625 1.3724621
## 7 ('335550', '2054160') 0.1017000 1.7661017
## 8 ('337230', '2054190') 0.1937250 1.8582338

```

```

## 9      ('328200', '2054610')      0.0767250      1.3636753
## 10     ('325020', '2063940')      0.3344625      3.0609903
##   Max_Elevation Min_Elevation Elevation_Difference Mean_Elevation
## 1      1265.470      1053.700      211.770      1145.6620
## 2      1537.031      1276.934      260.097      1393.4840
## 3      1622.275      1292.326      329.949      1486.4480
## 4      1187.114      1023.730      163.384      1110.6510
## 5      571.791       527.592       44.199       542.5508
## 6      829.274       760.542       68.732       798.5983
## 7      1349.194      1015.026      334.168      1182.4160
## 8      1022.694      730.338      292.356      893.6440
## 9      1157.580      882.936      274.644      1029.6930
## 10     2132.003      1476.494      655.509      1834.1150
##   Mean_Slope Length_of_Directing_Vector_km
## 1      21.00          0.2410021
## 2      33.45          0.2016978
## 3      34.06          0.2696702
## 4      26.70          0.1891084
## 5      9.11           0.1346180
## 6      7.96           0.2725472
## 7      26.90          0.3349657
## 8      28.07          0.3304573
## 9      24.09          0.2410021
## 10     32.20          0.6316661
##   Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw Compactness_Coefficient
## 1                  0.128986974      4.117267
## 2                  1.113800504      4.268424
## 3                  1.105490345      3.946697
## 4                  0.328439418      4.089618
## 5                  0.453681162      4.051527
## 6                  1.464190947      4.021831
## 7                  1.103143399      4.907951
## 8                  1.476848780      3.741558
## 9                  0.004149354      4.363023
## 10     1.524869849      4.690652
##   Circularity_Ratio Topological_Diameter Elongation_Ratio Shape_Factor
## 1      0.5822128          1      1.5446291      0.6553012
## 2      0.5417071          1      5.6559830      1.0659635
## 3      0.6336249          1      2.1397239      0.7813103
## 4      0.5901118          1      5.5994217      1.0447503
## 5      0.6012599          1      2.6127893      0.3883252
## 6      0.6101719          1      8.0434125      2.1557918
## 7      0.4097315          1      1.5665487      0.4427406
## 8      0.7050093          1      1.2122047      0.4728395
## 9      0.5184714          1      1.5257437      0.3745372
## 10     0.4485733          1      0.7526919      0.3857766
##   Concentration_Time_hr Length_of_Mainchannel_km
## 1      0.20953664        0.34970563

```

```

## 2          0.07086383      0.04242641
## 3          0.13584250      0.21727922
## 4          0.08857840      0.04242641
## 5          0.14655398      0.07242641
## 6          0.19198992      0.04242641
## 7          0.11078724      0.22970563
## 8          0.17363639      0.40970563
## 9          0.10674763      0.20485281
## 10         0.17643437      0.86698485
##   Mean_slope_of_mainchannel_percent Mean_hillslope_length_m Magnitudo
## 1                      20.196890           1325            1
## 2                      53.428988           753            1
## 3                      58.152675           534            1
## 4                      28.680251          1576            1
## 5                      7.401385           4015            1
## 6                      3.493107           2846            1
## 7                      43.676110          1303            1
## 8                      34.166123           2354            1
## 9                      59.278371          1714            1
## 10                     54.572867            49            1
##   Max_order_Strahler Number_of_streams Total_Stream_Length_km
## 1                      1                  1        0.3921
## 2                      1                  1        0.0849
## 3                      1                  1        0.2597
## 4                      1                  1        0.0849
## 5                      1                  1        0.1024
## 6                      1                  1        0.0724
## 7                      1                  1        0.2597
## 8                      1                  1        0.4521
## 9                      1                  1        0.2349
## 10                     1                  1        0.9094
##   First_order_stream_frequency Drainage_Density_km_over_km2
## 1                      4.363716          1.7110129
## 2                      22.111664          1.8772803
## 3                      5.890582          1.5297843
## 4                      22.560632          1.9153976
## 5                      35.555556          3.6408889
## 6                      10.933443          0.7915812
## 7                      9.832842          2.5535890
## 8                      5.161956          2.3337205
## 9                      13.033561          3.0615836
## 10                     2.989872          2.7189894
##   Bifurcation_Ratio_Horton Length_Ratio_Horton Area_ratio_Horton
## 1                      NA                  NA            NA
## 2                      NA                  NA            NA
## 3                      NA                  NA            NA
## 4                      NA                  NA            NA
## 5                      NA                  NA            NA

```

```

## 6 NA NA NA
## 7 NA NA NA
## 8 NA NA NA
## 9 NA NA NA
## 10 NA NA NA
##   Slope_ratio_Horton optional      geom
## 1       NA  TRUE POINT (332685 2054895)
## 2       NA  TRUE POINT (321165 2055015)
## 3       NA  TRUE POINT (321435 2055075)
## 4       NA  TRUE POINT (334965 2054895)
## 5       NA  TRUE POINT (342765 2054775)
## 6       NA  TRUE POINT (329985 2055075)
## 7       NA  TRUE POINT (335355 2054505)
## 8       NA  TRUE POINT (336975 2054475)
## 9       NA  TRUE POINT (327945 2054775)
## 10      NA  TRUE POINT (324735 2064585)

(pol1 <- st_read(dsn = 'r_stream_basins_1.geojson', crs = 32619))

## Reading layer 'r_stream_basins_1' from data source '/home/yoenn/unidad-0-asignacion-99-mi-pro
## Simple feature collection with 4316 features and 4 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):    32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs

## Simple feature collection with 4316 features and 4 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):    32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##   fid cat value label      geometry
## 1 3.0e+09  2    1  POLYGON ((334500 2067660, 3...
## 2 4.0e+09  3    3  POLYGON ((334500 2067390, 3...
## 3 5.0e+09  7    2  POLYGON ((334440 2067330, 3...
## 4 6.0e+09 11   18  POLYGON ((333840 2067180, 3...
## 5 7.0e+09  8    8  POLYGON ((333750 2067240, 3...
## 6 8.0e+09  9    4  POLYGON ((334380 2067240, 3...
## 7 9.0e+09 12   10  POLYGON ((332640 2067120, 3...
## 8 1.0e+10 14   9  POLYGON ((333540 2067090, 3...
## 9 1.1e+10 15   14  POLYGON ((333330 2067090, 3...
## 10 1.2e+10 10   13  POLYGON ((332280 2067000, 3...

```

```

pol2 <- st_read(dsn = 'r_stream_basins_2.geojson', crs = 32619)

## Reading layer 'r_stream_basins_2' from data source '/home/yoenn/unidad-0-asignacion-99-mi-proy
## Simple feature collection with 890 features and 4 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs

```

```

pol3 <- st_read(dsn = 'r_stream_basins_3.geojson', crs = 32619)

```

```

## Reading layer 'r_stream_basins_3' from data source '/home/yoenn/unidad-0-asignacion-99-mi-proy
## Simple feature collection with 192 features and 4 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 351750 ymax: 2067690
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs

```

```

pol4 <- st_read(dsn = 'r_stream_basins_4.geojson', crs = 32619)

```

```

## Reading layer 'r_stream_basin_4' from data source '/home/yoenn/unidad-0-asignacion-99-mi-proy
## Simple feature collection with 47 features and 4 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2022210 xmax: 351750 ymax: 2067690
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs

```

Orden de Red Cuencas 1, clasificación de Strahler

```

datos %>% dplyr::filter(Max_order_Strahler==1)

## Simple feature collection with 3027 features and 32 fields
## geometry type:  POINT
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317775 ymin: 2019315 xmax: 351945 ymax: 2067525
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##   subbasin.ID RectangleContaining_basin_N_W
## 1 /order1basin1000 ('332370', '2055210')
## 2 /order1basin1001 ('321090', '2055210')
## 3 /order1basin1002 ('321180', '2055270')
## 4 /order1basin1003 ('334800', '2055000')

```

```

## 5 /order1basin1004 ('342630', '2054850')
## 6 /order1basin1005 ('329820', '2055270')
## 7 /order1basin1006 ('335190', '2054820')
## 8 /order1basin1007 ('336780', '2054820')
## 9 /order1basin1009 ('327690', '2054880')
## 10 /order1basin100 ('324540', '2065080')

## RectangleContaining_basin_S_E Area_of_basin_km2 Perimeter_of_basin_km
## 1 ('333060', '2054550') 0.2291625 2.2240054
## 2 ('321270', '2054820') 0.0452250 1.0242641
## 3 ('321690', '2054790') 0.1697625 1.8348885
## 4 ('335160', '2054790') 0.0443250 0.9715433
## 5 ('342900', '2054670') 0.0281250 0.7666905
## 6 ('330150', '2054790') 0.0914625 1.3724621
## 7 ('335550', '2054160') 0.1017000 1.7661017
## 8 ('337230', '2054190') 0.1937250 1.8582338
## 9 ('328200', '2054610') 0.0767250 1.3636753
## 10 ('325020', '2063940') 0.3344625 3.0609903

## Max_Elevation Min_Elevation Elevation_Difference Mean_Elevation
## 1 1265.470 1053.700 211.770 1145.6620
## 2 1537.031 1276.934 260.097 1393.4840
## 3 1622.275 1292.326 329.949 1486.4480
## 4 1187.114 1023.730 163.384 1110.6510
## 5 571.791 527.592 44.199 542.5508
## 6 829.274 760.542 68.732 798.5983
## 7 1349.194 1015.026 334.168 1182.4160
## 8 1022.694 730.338 292.356 893.6440
## 9 1157.580 882.936 274.644 1029.6930
## 10 2132.003 1476.494 655.509 1834.1150

## Mean_Slope Length_of_Directing_Vector_km
## 1 21.00 0.2410021
## 2 33.45 0.2016978
## 3 34.06 0.2696702
## 4 26.70 0.1891084
## 5 9.11 0.1346180
## 6 7.96 0.2725472
## 7 26.90 0.3349657
## 8 28.07 0.3304573
## 9 24.09 0.2410021
## 10 32.20 0.6316661

## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw Compactness_Coefficient
## 1 0.128986974 4.117267
## 2 1.113800504 4.268424
## 3 1.105490345 3.946697
## 4 0.328439418 4.089618
## 5 0.453681162 4.051527
## 6 1.464190947 4.021831
## 7 1.103143399 4.907951
## 8 1.476848780 3.741558

```

```

## 9          0.004149354          4.363023
## 10         1.524869849          4.690652
##   Circularity_Ratio Topological_Diameter Elongation_Ratio Shape_Factor
## 1          0.5822128           1          1.5446291          0.6553012
## 2          0.5417071           1          5.6559830          1.0659635
## 3          0.6336249           1          2.1397239          0.7813103
## 4          0.5901118           1          5.5994217          1.0447503
## 5          0.6012599           1          2.6127893          0.3883252
## 6          0.6101719           1          8.0434125          2.1557918
## 7          0.4097315           1          1.5665487          0.4427406
## 8          0.7050093           1          1.2122047          0.4728395
## 9          0.5184714           1          1.5257437          0.3745372
## 10         0.4485733          1          0.7526919          0.3857766
##   Concentration_Time_hr Length_of_Mainchannel_km
## 1          0.20953664          0.34970563
## 2          0.07086383          0.04242641
## 3          0.13584250          0.21727922
## 4          0.08857840          0.04242641
## 5          0.14655398          0.07242641
## 6          0.19198992          0.04242641
## 7          0.11078724          0.22970563
## 8          0.17363639          0.40970563
## 9          0.10674763          0.20485281
## 10         0.17643437          0.86698485
##   Mean_slope_of_mainchannel_percent Mean_hillslope_length_m Magnitudo
## 1          20.196890           1325          1
## 2          53.428988           753          1
## 3          58.152675           534          1
## 4          28.680251           1576          1
## 5          7.401385           4015          1
## 6          3.493107           2846          1
## 7          43.676110           1303          1
## 8          34.166123           2354          1
## 9          59.278371           1714          1
## 10         54.572867            49          1
##   Max_order_Strahler Number_of_streams Total_Stream_Length_km
## 1          1           1          0.3921
## 2          1           1          0.0849
## 3          1           1          0.2597
## 4          1           1          0.0849
## 5          1           1          0.1024
## 6          1           1          0.0724
## 7          1           1          0.2597
## 8          1           1          0.4521
## 9          1           1          0.2349
## 10         1           1          0.9094
##   First_order_stream_frequency Drainage_Density_km_over_km2
## 1          4.363716           1.7110129

```

```

## 2           22.111664          1.8772803
## 3           5.890582          1.5297843
## 4           22.560632          1.9153976
## 5           35.555556          3.6408889
## 6           10.933443          0.7915812
## 7           9.832842          2.5535890
## 8           5.161956          2.3337205
## 9           13.033561          3.0615836
## 10          2.989872          2.7189894
##   Bifurcation_Ratio_Horton Length_Ratio_Horton Area_ratio_Horton
## 1             NA              NA              NA
## 2             NA              NA              NA
## 3             NA              NA              NA
## 4             NA              NA              NA
## 5             NA              NA              NA
## 6             NA              NA              NA
## 7             NA              NA              NA
## 8             NA              NA              NA
## 9             NA              NA              NA
## 10            NA              NA              NA
##   Slope_ratio_Horton optional      geom
## 1             NA    TRUE POINT (332685 2054895)
## 2             NA    TRUE POINT (321165 2055015)
## 3             NA    TRUE POINT (321435 2055075)
## 4             NA    TRUE POINT (334965 2054895)
## 5             NA    TRUE POINT (342765 2054775)
## 6             NA    TRUE POINT (329985 2055075)
## 7             NA    TRUE POINT (335355 2054505)
## 8             NA    TRUE POINT (336975 2054475)
## 9             NA    TRUE POINT (327945 2054775)
## 10            NA    TRUE POINT (324735 2064585)

datos %>%
  select_if(is.numeric) %>%
  gather(variable, valor, -geom) %>%
  st_drop_geometry() %>%
  group_by(variable) %>%
  summarise(m=mean(valor, na.rm=T))

## # A tibble: 28 x 2
##   variable           m
##   <chr>            <dbl>
## 1 Area_of_basin_km2     0.131
## 2 Area_ratio_Horton     NaN
## 3 Bifurcation_Ratio_Horton     NaN
## 4 Circularity_Ratio      0.575
## 5 Compactness_Coefficient    4.20
## 6 Concentration_Time_hr     0.198

```

```

## 7 Drainage_Density_km_over_km2 2.73
## 8 Elevation_Difference 200.
## 9 Elongation_Ratio 2.16
## 10 First_order_stream_frequency 11.5
## # ... with 18 more rows

```

```

datos %>%
  select_if(is.numeric) %>%
  gather(variable, valor, -geom) %>%
  tm_shape() + tm_dots(col = 'valor') + tm_facets(by='variable',
  free.coords = F, free.scales = T)

```

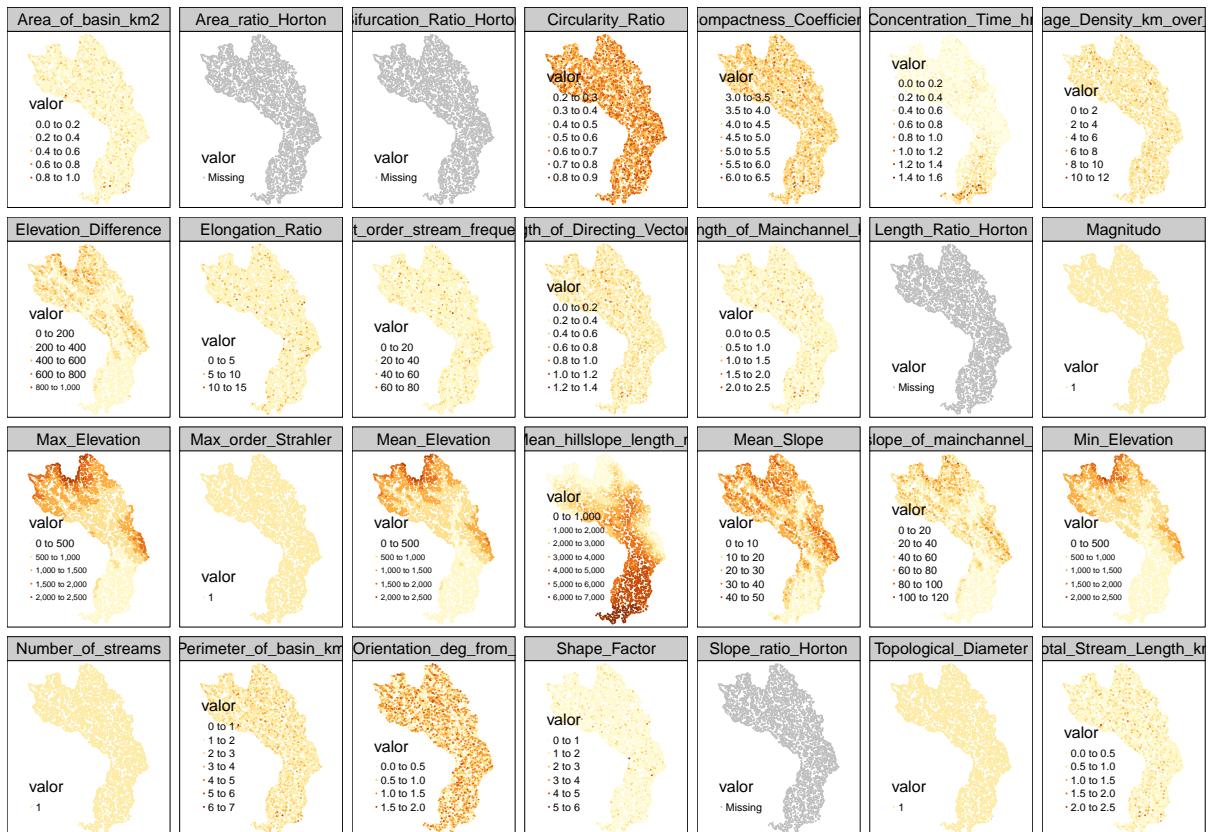


Tabla cols numéricas, con varianza

```

datosnum <- datos %>%
  st_drop_geometry() %>%
  select_if(is.numeric) %>%
  select_if(~ sum(!is.na(.))>0) %>%
  select_if(function(x) var(x, na.rm=T) !=0)

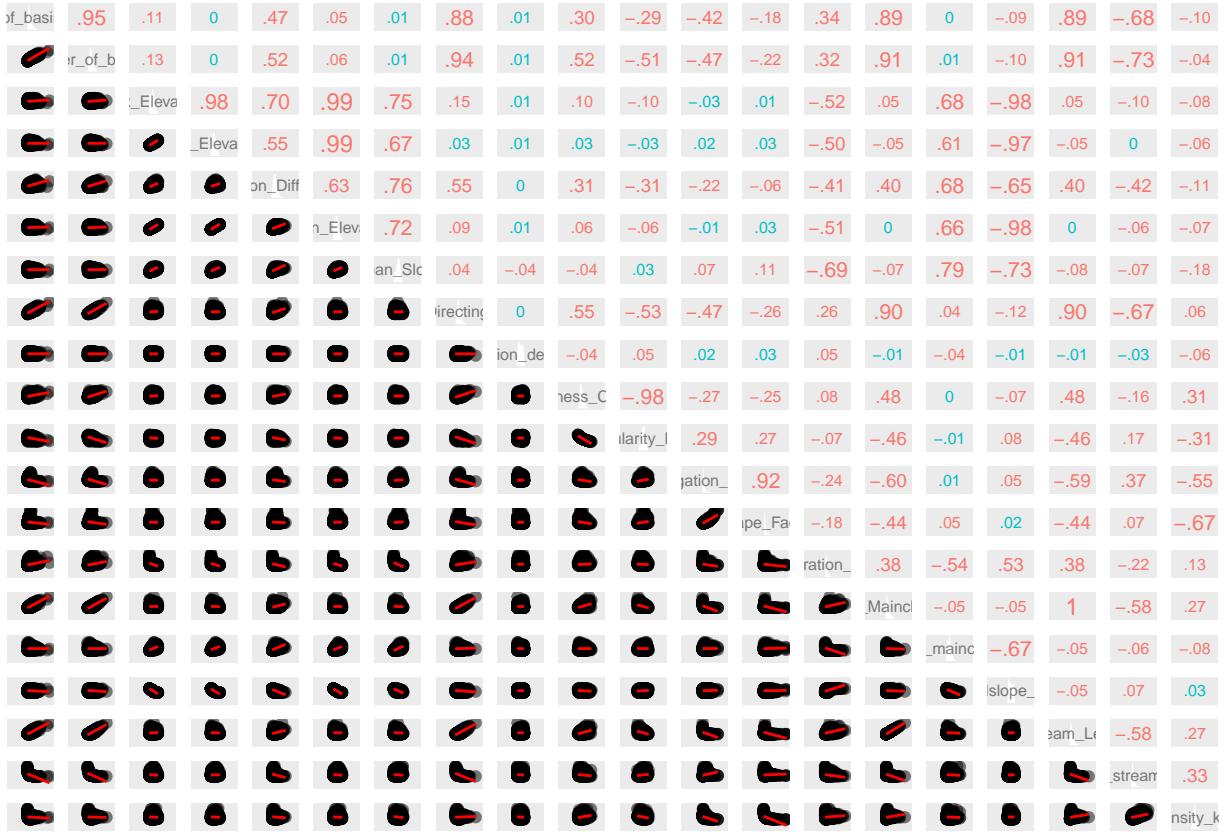
```

Evaluación de correlación entre las variables como criterio de selección

```

datosnum %>% ezCor(r_size_lims = 2:3, label_size = 2)

```



datosnum %>% cor

```
##                                     Area_of_basin_km2
## Area_of_basin_km2                  1.00000000000
## Perimeter_of_basin_km               0.9544758340
## Max_Elevation                      0.1085164535
## Min_Elevation                      -0.0037333059
## Elevation_Difference                0.4687069509
## Mean_Elevation                     0.0527159463
## Mean_Slope                          0.0116722827
## Length_of_Directing_Vector_km      0.8821719458
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw 0.0133206854
## Compactness_Coefficient            0.3026490133
## Circularity_Ratio                  -0.2885703636
## Elongation_Ratio                   -0.4201325677
## Shape_Factor                        -0.1774118107
## Concentration_Time_hr              0.3376141894
## Length_of_Mainchannel_km           0.8868782573
## Mean_slope_of_mainchannel_percent -0.0000623078
## Mean_hillslope_length_m           -0.0868302019
## Total_Stream_Length_km             0.8866554994
## First_order_stream_frequency      -0.6765432843
## Drainage_Density_km_over_km2      -0.0999198137
##                                     Perimeter_of_basin_km
```

## Area_of_basin_km2	0.954475834
## Perimeter_of_basin_km	1.000000000
## Max_Elevation	0.126072976
## Min_Elevation	0.003374361
## Elevation_Difference	0.517032317
## Mean_Elevation	0.064253895
## Mean_Slope	0.007432527
## Length_of_Directing_Vector_km	0.941048386
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.005013254
## Compactness_Coefficient	0.524072883
## Circularity_Ratio	-0.505511388
## Elongation_Ratio	-0.465434321
## Shape_Factor	-0.222059361
## Concentration_Time_hr	0.323183639
## Length_of_Mainchannel_km	0.912566038
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.011612370
## Mean_hillslope_length_m	-0.097546277
## Total_Stream_Length_km	0.912065876
## First_order_stream_frequency	-0.729729329
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.037858082
##	
## Area_of_basin_km2	0.108516454
## Perimeter_of_basin_km	0.126072976
## Max_Elevation	1.000000000
## Min_Elevation	0.979845711
## Elevation_Difference	0.701703589
## Mean_Elevation	0.994679678
## Mean_Slope	0.750349000
## Length_of_Directing_Vector_km	0.152748940
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.008534377
## Compactness_Coefficient	0.097747484
## Circularity_Ratio	-0.100979358
## Elongation_Ratio	-0.034917788
## Shape_Factor	0.014803339
## Concentration_Time_hr	-0.522952456
## Length_of_Mainchannel_km	0.050522470
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.682330464
## Mean_hillslope_length_m	-0.976100493
## Total_Stream_Length_km	0.050305343
## First_order_stream_frequency	-0.104632503
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.080209378
##	
## Area_of_basin_km2	0.468706951
## Perimeter_of_basin_km	0.517032317
## Max_Elevation	0.701703589
## Min_Elevation	0.545241433
## Elevation_Difference	1.000000000
## Mean_Elevation	0.628662419

## Mean_Slope	0.759984277
## Length_of_Directing_Vector_km	0.546682345
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.004216387
## Compactness_Coefficient	0.314482816
## Circularity_Ratio	-0.314862013
## Elongation_Ratio	-0.215062688
## Shape_Factor	-0.061759832
## Concentration_Time_hr	-0.413566386
## Length_of_Mainchannel_km	0.401222022
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.679079570
## Mean_hillslope_length_m	-0.649322231
## Total_Stream_Length_km	0.401542793
## First_order_stream_frequency	-0.424664856
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.109178547
##	
## Area_of_basin_km2	0.052715946
## Perimeter_of_basin_km	0.064253895
## Max_Elevation	0.994679678
## Min_Elevation	0.994064553
## Elevation_Difference	0.628662419
## Mean_Elevation	1.000000000
## Mean_Slope	0.717902080
## Length_of_Directing_Vector_km	0.091595925
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.008888368
## Compactness_Coefficient	0.058377050
## Circularity_Ratio	-0.061951571
## Elongation_Ratio	-0.006958558
## Shape_Factor	0.026491708
## Concentration_Time_hr	-0.513112068
## Length_of_Mainchannel_km	-0.001812884
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.660296508
## Mean_hillslope_length_m	-0.976432501
## Total_Stream_Length_km	-0.002122928
## First_order_stream_frequency	-0.056487200
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.074394042
##	
## Area_of_basin_km2	0.88217195
## Perimeter_of_basin_km	0.94104839
## Max_Elevation	0.15274894
## Min_Elevation	0.02644784
## Elevation_Difference	0.54668234
## Mean_Elevation	0.09159593
## Mean_Slope	0.04315224
## Length_of_Directing_Vector_km	1.00000000
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.00272695
## Compactness_Coefficient	0.54755642
## Circularity_Ratio	-0.53162055
## Elongation_Ratio	-0.47271463
##	
Mean_Elevation	Mean_Slope
0.994679678	0.750349000
0.994064553	0.669770309
0.628662419	0.759984277
1.000000000	0.717902080
0.717902080	1.000000000
0.091595925	0.043152236
0.008888368	-0.036953776
0.058377050	-0.039121906
-0.061951571	0.031780506
-0.006958558	0.066886548
0.026491708	0.109470202
-0.513112068	-0.688395113
-0.001812884	-0.074929355
0.660296508	0.791702711
-0.976432501	-0.725848165
-0.002122928	-0.075037094
-0.056487200	-0.070666731
-0.074394042	-0.178183177
Length_of_Directing_Vector_km	
0.88217195	
0.94104839	
0.15274894	
0.02644784	
0.54668234	
0.09159593	
0.04315224	
1.00000000	
0.00272695	
0.54755642	
-0.53162055	
-0.47271463	

## Shape_Factor	-0.26333595
## Concentration_Time_hr	0.26489121
## Length_of_Mainchannel_km	0.90154020
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.04130672
## Mean_hillslope_length_m	-0.12424888
## Total_Stream_Length_km	0.90087307
## First_order_stream_frequency	-0.66625572
## Drainage_Density_km_over_km2	0.05523891
##	Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw
## Area_of_basin_km2	0.013320685
## Perimeter_of_basin_km	0.005013254
## Max_Elevation	0.008534377
## Min_Elevation	0.011223559
## Elevation_Difference	-0.004216387
## Mean_Elevation	0.008888368
## Mean_Slope	-0.036953776
## Length_of_Directing_Vector_km	0.002726950
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	1.000000000
## Compactness_Coefficient	-0.038263247
## Circularity_Ratio	0.047959520
## Elongation_Ratio	0.020435968
## Shape_Factor	0.028979551
## Concentration_Time_hr	0.045817442
## Length_of_Mainchannel_km	-0.014559540
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.041954144
## Mean_hillslope_length_m	-0.006101928
## Total_Stream_Length_km	-0.014834648
## First_order_stream_frequency	-0.025730089
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.062373016
##	Compactness_Coefficient
## Area_of_basin_km2	0.302649013
## Perimeter_of_basin_km	0.524072883
## Max_Elevation	0.097747484
## Min_Elevation	0.026836115
## Elevation_Difference	0.314482816
## Mean_Elevation	0.058377050
## Mean_Slope	-0.039121906
## Length_of_Directing_Vector_km	0.547556416
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.038263247
## Compactness_Coefficient	1.000000000
## Circularity_Ratio	-0.982893198
## Elongation_Ratio	-0.274815245
## Shape_Factor	-0.253076546
## Concentration_Time_hr	0.084829477
## Length_of_Mainchannel_km	0.477967483
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.002602623
## Mean_hillslope_length_m	-0.074702534
## Total_Stream_Length_km	0.476467186

## First_order_stream_frequency	-0.161420996
## Drainage_Density_km_over_km2	0.310395399
##	Circularity_Ratio
## Area_of_basin_km2	-0.288570364
## Perimeter_of_basin_km	-0.505511388
## Max_Elevation	-0.100979358
## Min_Elevation	-0.030532368
## Elevation_Difference	-0.314862013
## Mean_Elevation	-0.061951571
## Mean_Slope	0.031780506
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.531620546
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.047959520
## Compactness_Coefficient	-0.982893198
## Circularity_Ratio	1.000000000
## Elongation_Ratio	0.289513381
## Shape_Factor	0.265974071
## Concentration_Time_hr	-0.074379454
## Length_of_Mainchannel_km	-0.459171337
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.006744063
## Mean_hillslope_length_m	0.078708721
## Total_Stream_Length_km	-0.457493385
## First_order_stream_frequency	0.168318540
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.309107811
##	Elongation_Ratio Shape_Factor
## Area_of_basin_km2	-0.420132568 -0.17741181
## Perimeter_of_basin_km	-0.465434321 -0.22205936
## Max_Elevation	-0.034917788 0.01480334
## Min_Elevation	0.019213707 0.03473304
## Elevation_Difference	-0.215062688 -0.06175983
## Mean_Elevation	-0.006958558 0.02649171
## Mean_Slope	0.066886548 0.10947020
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.472714634 -0.26333595
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.020435968 0.02897955
## Compactness_Coefficient	-0.274815245 -0.25307655
## Circularity_Ratio	0.289513381 0.26597407
## Elongation_Ratio	1.000000000 0.92166632
## Shape_Factor	0.921666316 1.00000000
## Concentration_Time_hr	-0.244967627 -0.18437450
## Length_of_Mainchannel_km	-0.595756838 -0.43862982
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	0.013563039 0.05012741
## Mean_hillslope_length_m	0.054309895 0.02193559
## Total_Stream_Length_km	-0.594894045 -0.43777825
## First_order_stream_frequency	0.370979755 0.06989293
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.546157778 -0.66918169
##	Concentration_Time_hr
## Area_of_basin_km2	0.33761419
## Perimeter_of_basin_km	0.32318364
## Max_Elevation	-0.52295246

## Min_Elevation	-0.49934496
## Elevation_Difference	-0.41356639
## Mean_Elevation	-0.51311207
## Mean_Slope	-0.68839511
## Length_of_Directing_Vector_km	0.26489121
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	0.04581744
## Compactness_Coefficient	0.08482948
## Circularity_Ratio	-0.07437945
## Elongation_Ratio	-0.24496763
## Shape_Factor	-0.18437450
## Concentration_Time_hr	1.00000000
## Length_of_Mainchannel_km	0.37973458
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.54157779
## Mean_hillslope_length_m	0.53319066
## Total_Stream_Length_km	0.37928755
## First_order_stream_frequency	-0.22050640
## Drainage_Density_km_over_km2	0.12574975
##	Length_of_Mainchannel_km
## Area_of_basin_km2	0.886878257
## Perimeter_of_basin_km	0.912566038
## Max_Elevation	0.050522470
## Min_Elevation	-0.053047221
## Elevation_Difference	0.401222022
## Mean_Elevation	-0.001812884
## Mean_Slope	-0.074929355
## Length_of_Directing_Vector_km	0.901540197
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.014559540
## Compactness_Coefficient	0.477967483
## Circularity_Ratio	-0.459171337
## Elongation_Ratio	-0.595756838
## Shape_Factor	-0.438629821
## Concentration_Time_hr	0.379734584
## Length_of_Mainchannel_km	1.000000000
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.048088478
## Mean_hillslope_length_m	-0.053644883
## Total_Stream_Length_km	0.999712141
## First_order_stream_frequency	-0.577404672
## Drainage_Density_km_over_km2	0.273665370
##	Mean_slope_of_mainchannel_percent
## Area_of_basin_km2	-0.0000623078
## Perimeter_of_basin_km	0.0116123695
## Max_Elevation	0.6823304637
## Min_Elevation	0.6124241933
## Elevation_Difference	0.6790795702
## Mean_Elevation	0.6602965081
## Mean_Slope	0.7917027108
## Length_of_Directing_Vector_km	0.0413067240
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.0419541444

## Compactness_Coefficient	0.0026026227
## Circularity_Ratio	-0.0067440632
## Elongation_Ratio	0.0135630387
## Shape_Factor	0.0501274147
## Concentration_Time_hr	-0.5415777885
## Length_of_Mainchannel_km	-0.0480884780
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	1.0000000000
## Mean_hillslope_length_m	-0.6681192684
## Total_Stream_Length_km	-0.0474631511
## First_order_stream_frequency	-0.0557148988
## Drainage_Density_km_over_km2	-0.0801406065
##	
## Area_of_basin_km2	-0.086830202
## Perimeter_of_basin_km	-0.097546277
## Max_Elevation	-0.976100493
## Min_Elevation	-0.966412179
## Elevation_Difference	-0.649322231
## Mean_Elevation	-0.976432501
## Mean_Slope	-0.725848165
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.124248878
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.006101928
## Compactness_Coefficient	-0.074702534
## Circularity_Ratio	0.078708721
## Elongation_Ratio	0.054309895
## Shape_Factor	0.021935590
## Concentration_Time_hr	0.533190662
## Length_of_Mainchannel_km	-0.053644883
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.668119268
## Mean_hillslope_length_m	1.0000000000
## Total_Stream_Length_km	-0.053467451
## First_order_stream_frequency	0.068526699
## Drainage_Density_km_over_km2	0.027552614
##	
## Area_of_basin_km2	0.886655499
## Perimeter_of_basin_km	0.912065876
## Max_Elevation	0.050305343
## Min_Elevation	-0.053392624
## Elevation_Difference	0.401542793
## Mean_Elevation	-0.002122928
## Mean_Slope	-0.075037094
## Length_of_Directing_Vector_km	0.900873075
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.014834648
## Compactness_Coefficient	0.476467186
## Circularity_Ratio	-0.457493385
## Elongation_Ratio	-0.594894045
## Shape_Factor	-0.437778253
## Concentration_Time_hr	0.379287551
## Length_of_Mainchannel_km	0.999712141

## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.047463151
## Mean_hillslope_length_m	-0.053467451
## Total_Stream_Length_km	1.000000000
## First_order_stream_frequency	-0.577169211
## Drainage_Density_km_over_km2	0.274631240
##	First_order_stream_frequency
## Area_of_basin_km2	-0.67654328
## Perimeter_of_basin_km	-0.72972933
## Max_Elevation	-0.10463250
## Min_Elevation	-0.00404504
## Elevation_Difference	-0.42466486
## Mean_Elevation	-0.05648720
## Mean_Slope	-0.07066673
## Length_of_Directing_Vector_km	-0.66625572
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.02573009
## Compactness_Coefficient	-0.16142100
## Circularity_Ratio	0.16831854
## Elongation_Ratio	0.37097976
## Shape_Factor	0.06989293
## Concentration_Time_hr	-0.22050640
## Length_of_Mainchannel_km	-0.57740467
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.05571490
## Mean_hillslope_length_m	0.06852670
## Total_Stream_Length_km	-0.57716921
## First_order_stream_frequency	1.000000000
## Drainage_Density_km_over_km2	0.33133675
##	Drainage_Density_km_over_km2
## Area_of_basin_km2	-0.09991981
## Perimeter_of_basin_km	-0.03785808
## Max_Elevation	-0.08020938
## Min_Elevation	-0.06376248
## Elevation_Difference	-0.10917855
## Mean_Elevation	-0.07439404
## Mean_Slope	-0.17818318
## Length_of_Directing_Vector_km	0.05523891
## Prevalent_Orientation_deg_from_north_ccw	-0.06237302
## Compactness_Coefficient	0.31039540
## Circularity_Ratio	-0.30910781
## Elongation_Ratio	-0.54615778
## Shape_Factor	-0.66918169
## Concentration_Time_hr	0.12574975
## Length_of_Mainchannel_km	0.27366537
## Mean_slope_of_mainchannel_percent	-0.08014061
## Mean_hillslope_length_m	0.02755261
## Total_Stream_Length_km	0.27463124
## First_order_stream_frequency	0.33133675
## Drainage_Density_km_over_km2	1.000000000

Union espacial de las variables seleccionadas

```
VARSEL <- datos %>%
  dplyr::select(
    DD = Drainage_Density_km_over_km2,
    SF = Shape_Factor,
    ER = Elongation_Ratio,
    TS = Total_Stream_Length_km,
    MS = Mean_Slope
  )

Varselpol1 <- pol1 %>% st_join(left = F, VARSEL)
Varselpol2 <- Varselpol1 %>%
  mutate(logDD = log(DD))
```

Creación de objeto XY con atributos del objeto Varselpol2 mediante el centroide de los polígonos

```
xy <- Varselpol2 %>%
  st_centroid() %>%
  mutate(x=unlist(map(geometry,1)),
        y=unlist(map(geometry,2))) %>%
  st_drop_geometry() %>%
  select(fid, x, y)
```

Creación del objeto Varselpol3 mediante unión de XY y Varselpol2

```
Varselpol3 <- Varselpol2 %>%
  inner_join(xy)
Varselpol3
```



```
## Simple feature collection with 3027 features and 12 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:   +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##   fid cat value label      DD       SF       ER       TS       MS
## 1  3.0e+09  2     1      2.189137 0.4974215 1.1522986 0.5194 26.44
## 2  4.0e+09  3     3      1.317045 1.5193957 6.7526210 0.0849 31.26
## 3  5.0e+09  7     2      5.021898 0.2158705 0.8774590 0.3870 24.12
## 4  6.0e+09  11    18     3.348350 0.3116489 0.7588246 0.7191 27.12
## 5  7.0e+09  8     8      1.323741 0.9530676 3.2504695 0.1449 36.98
## 6  8.0e+09  9     4      5.407681 0.2022916 0.7547642 0.4946 23.41
## 7  9.0e+09  12    10     1.707515 0.6384885 1.5645024 0.3621 34.67
## 8  1.0e+10  14    9      1.776552 0.7101480 2.8058127 0.1449 37.30
## 9  1.1e+10  15    14     1.017378 1.2400654 3.7077166 0.1449 37.36
```

```

## 10 1.2e+10 10      13      1.376470 0.8268738 2.2012308 0.2473 30.57
##           logDD      x      y                  geometry
## 1  0.7835072 334063.9 2067449 POLYGON ((334500 2067660, 3...
## 2  0.2753904 334582.9 2067514 POLYGON ((334500 2067390, 3...
## 3  1.6138079 334172.4 2067265 POLYGON ((334440 2067330, 3...
## 4  1.2084677 334366.4 2066754 POLYGON ((333840 2067180, 3...
## 5  0.2804618 333919.7 2066981 POLYGON ((333750 2067240, 3...
## 6  1.6878203 334365.9 2067039 POLYGON ((334380 2067240, 3...
## 7  0.5350394 333028.9 2066963 POLYGON ((332640 2067120, 3...
## 8  0.5746743 333771.9 2066901 POLYGON ((333540 2067090, 3...
## 9  0.0172283 333384.3 2066840 POLYGON ((333330 2067090, 3...
## 10 0.3195221 332580.6 2066931 POLYGON ((332280 2067000, 3...

```

VECINDAD. Análisis de vecindad por contiguidad

```

Varselpol3 <- Varselpol2 %>%
  inner_join(xy)

```

```

## Joining, by = "fid"

```

```

Varselpol3

```

```

## Simple feature collection with 3027 features and 12 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##       fid cat value label      DD      SF      ER      TS      MS
## 1  3.0e+09  2     1      2.189137 0.4974215 1.1522986 0.5194 26.44
## 2  4.0e+09  3     3      1.317045 1.5193957 6.7526210 0.0849 31.26
## 3  5.0e+09  7     2      5.021898 0.2158705 0.8774590 0.3870 24.12
## 4  6.0e+09  11    18     3.348350 0.3116489 0.7588246 0.7191 27.12
## 5  7.0e+09  8     8      1.323741 0.9530676 3.2504695 0.1449 36.98
## 6  8.0e+09  9     4      5.407681 0.2022916 0.7547642 0.4946 23.41
## 7  9.0e+09  12    10     1.707515 0.6384885 1.5645024 0.3621 34.67
## 8  1.0e+10  14    9      1.776552 0.7101480 2.8058127 0.1449 37.30
## 9  1.1e+10  15    14     1.017378 1.2400654 3.7077166 0.1449 37.36
## 10 1.2e+10  10    13     1.376470 0.8268738 2.2012308 0.2473 30.57
##           logDD      x      y                  geometry
## 1  0.7835072 334063.9 2067449 POLYGON ((334500 2067660, 3...
## 2  0.2753904 334582.9 2067514 POLYGON ((334500 2067390, 3...
## 3  1.6138079 334172.4 2067265 POLYGON ((334440 2067330, 3...
## 4  1.2084677 334366.4 2066754 POLYGON ((333840 2067180, 3...
## 5  0.2804618 333919.7 2066981 POLYGON ((333750 2067240, 3...
## 6  1.6878203 334365.9 2067039 POLYGON ((334380 2067240, 3...

```

```

## 7 0.5350394 333028.9 2066963 POLYGON ((332640 2067120, 3...
## 8 0.5746743 333771.9 2066901 POLYGON ((333540 2067090, 3...
## 9 0.0172283 333384.3 2066840 POLYGON ((333330 2067090, 3...
## 10 0.3195221 332580.6 2066931 POLYGON ((332280 2067000, 3...

```

Análisis de Vecindad por cantidad de los 5 vecinos más cercanos

```

Varselpol3.sp <- as_Spatial(Varselpol3)
coords <- coordinates(Varselpol3.sp)
VecxK <- knn2nb(knearneigh(coords, k=5))

```

Análisis de Vecindad por peso de observaciones vecinas en Varselpol3

```

PesoW <- nb2listw(VecxK)
PesoW

```

```

## Characteristics of weights list object:
## Neighbour list object:
## Number of regions: 3027
## Number of nonzero links: 15135
## Percentage nonzero weights: 0.16518
## Average number of links: 5
## Non-symmetric neighbours list
##
## Weights style: W
## Weights constants summary:
##      n      nn     S0      S1      S2
## W 3027 9162729 3027 1111.88 12356.64

```

```

PesowB <- nb2listw(VecxK, style = 'B')
PesowB

```

```

## Characteristics of weights list object:
## Neighbour list object:
## Number of regions: 3027
## Number of nonzero links: 15135
## Percentage nonzero weights: 0.16518
## Average number of links: 5
## Non-symmetric neighbours list
##
## Weights style: B
## Weights constants summary:
##      n      nn     S0      S1      S2
## B 3027 9162729 15135 27797 308916

```

Análisis de Vecindad por peso de observaciones vecinas en la data completa

```

datos <- datos %>% st_difference()
coords <- coordinates(as_Spatial(datos))
nb <- knn2nb(knearneigh(coords, k = 5))
summary(nb)

## Neighbour list object:
## Number of regions: 3027
## Number of nonzero links: 15135
## Percentage nonzero weights: 0.16518
## Average number of links: 5
## Non-symmetric neighbours list
## Link number distribution:
##
##      5
## 3027
## 3027 least connected regions:
## 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34
## 3027 most connected regions:
## 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34

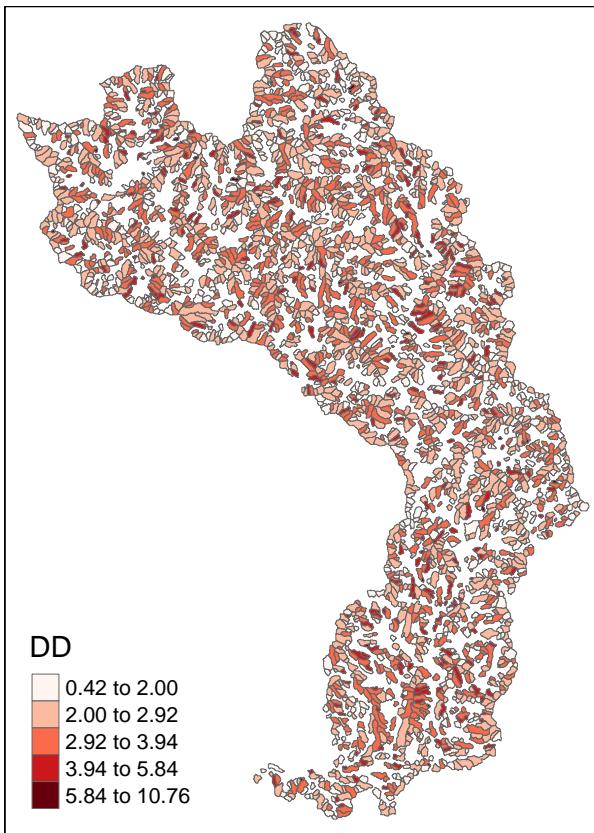
```

ANALISIS ESDA

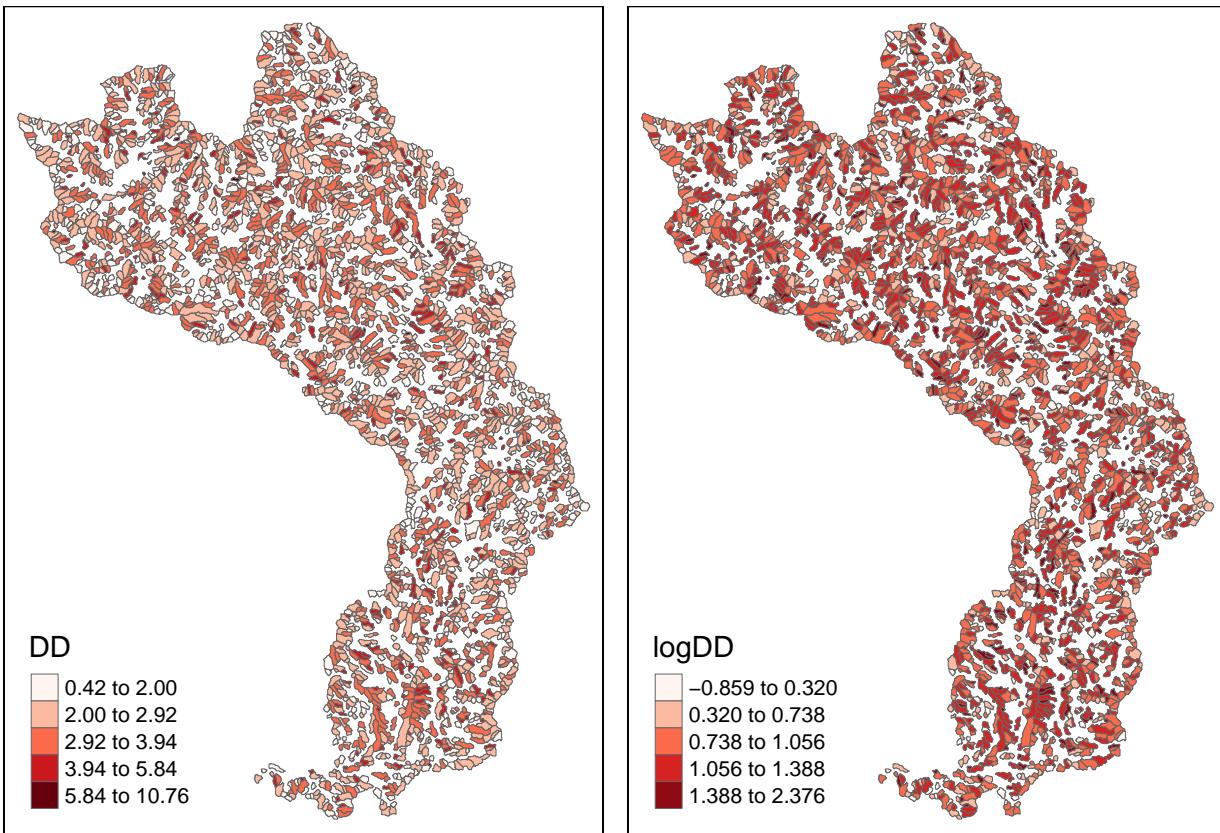
```

p1 <- tm_shape(Varselpol3) +
  tm_fill(col = "DD", style = 'jenks', palette = brewer.pal(9, name = 'Reds')) +
  tm_borders(lwd = 0.5)
p1

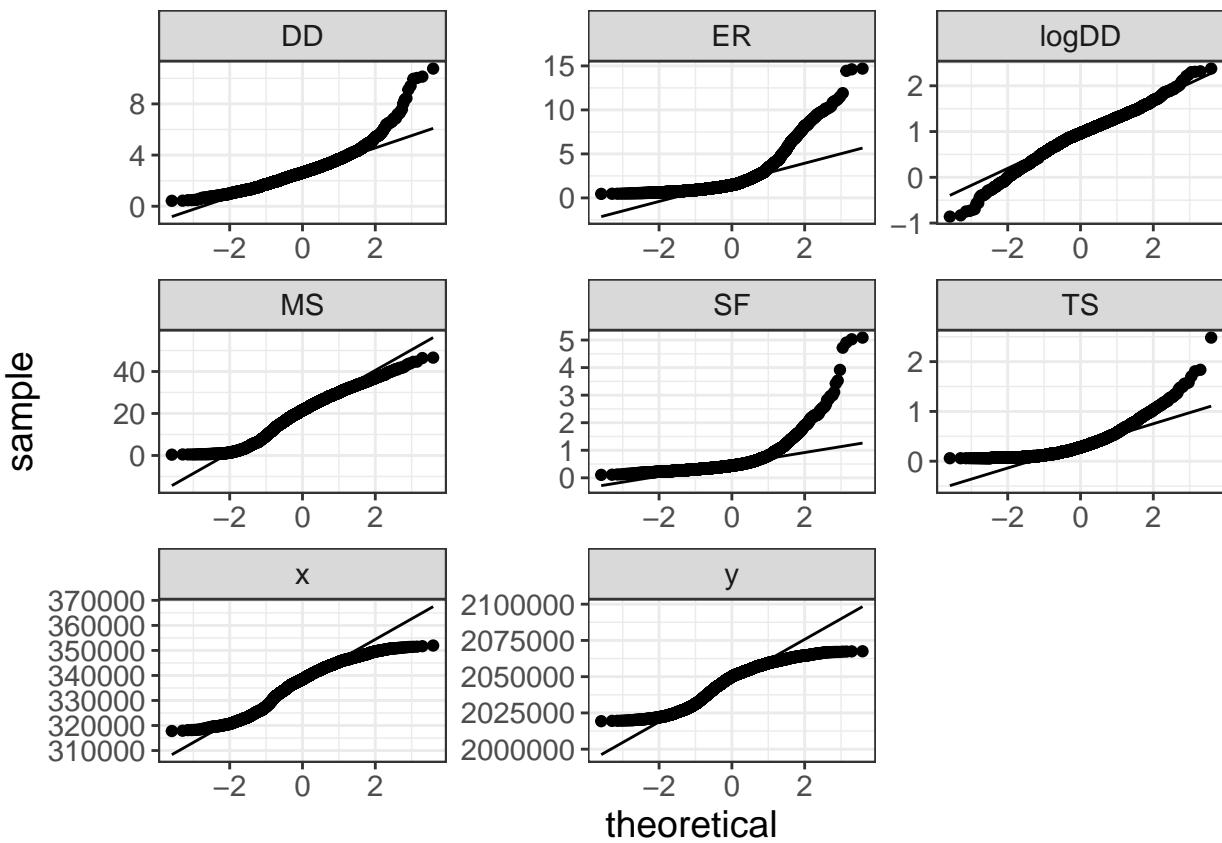
```



```
p2 <- tm_shape(Varselpol3) +
  tm_fill(col = "logDD", style = 'jenks',
         palette = brewer.pal(9, name = 'Reds'), midpoint = NA) +
  tm_borders(lwd = 0.5)
tmap_arrange(p1, p2)
```



```
Varselpol3 %>% st_drop_geometry() %>%
  gather(variable, valor, -(fid:label)) %>%
  ggplot() + aes(sample=valor) +
  stat_qq() + stat_qq_line() + theme_bw() +
  theme(text = element_text(size = 14)) +
  facet_wrap(~variable, scales = 'free')
```



```
Varselpol3 %>% st_drop_geometry() %>%
  gather(variable, valor, -(fid:label)) %>% group_by(variable) %>%
  summarise(prueba_normalidad=shapiro.test(valor)$p.value)
```

```
## # A tibble: 8 x 2
##   variable prueba_normalidad
##   <chr>           <dbl>
## 1 DD            5.80e-35
## 2 ER            2.12e-57
## 3 logDD         4.12e-18
## 4 MS            9.31e-21
## 5 SF            5.94e-61
## 6 TS            7.02e-46
## 7 x             1.90e-28
## 8 y             4.87e-33
```

```
lisamap(objesp = Varselpol3,
        var ='logDD',
        pesos = PesoW,
        tituloleyenda = 'Significancia\n("x-y", léase\ncomo "x"\nrodeado de "y")',
        leyenda = T,
        anchuratitulo = 1000,
        tamanotitulo = 16,
```

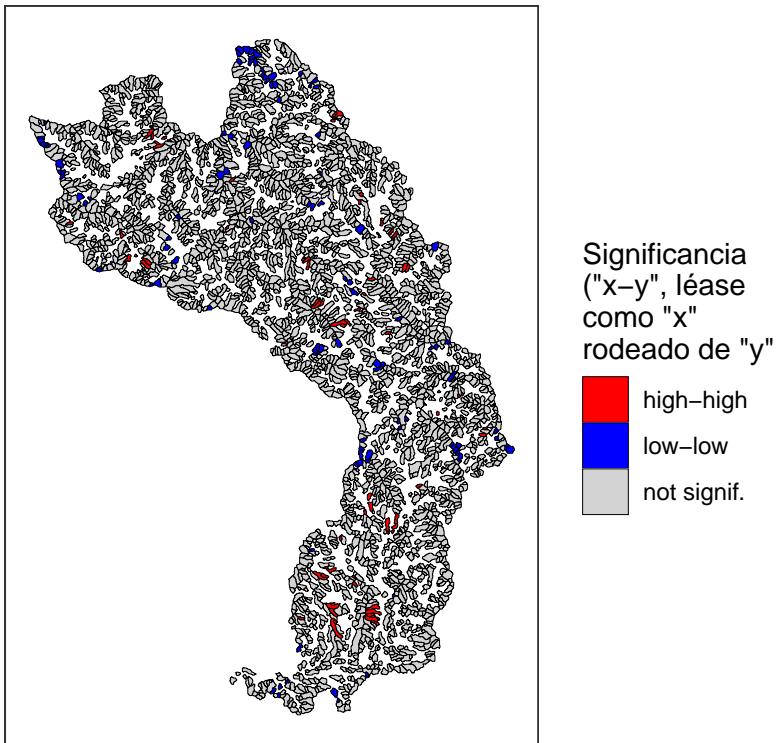
```

fuentedatos = 'SRTM',
titulomap = paste0('Clusters LISA de logDD'))

```

```
## $grafico
```

Clusters LISA de logDD



Fuente de datos: SRTM

```

##
## $objeto
## Simple feature collection with 3027 features and 15 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):   32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##      fid cat value label      DD      SF      ER      TS      MS
## 1  3.0e+09  2     1      2.189137 0.4974215 1.1522986 0.5194 26.44
## 2  4.0e+09  3     3      1.317045 1.5193957 6.7526210 0.0849 31.26
## 3  5.0e+09  7     2      5.021898 0.2158705 0.8774590 0.3870 24.12
## 4  6.0e+09  11    18     3.348350 0.3116489 0.7588246 0.7191 27.12
## 5  7.0e+09  8     8      1.323741 0.9530676 3.2504695 0.1449 36.98
## 6  8.0e+09  9     4      5.407681 0.2022916 0.7547642 0.4946 23.41
## 7  9.0e+09  12    10     1.707515 0.6384885 1.5645024 0.3621 34.67
## 8  1.0e+10  14    9      1.776552 0.7101480 2.8058127 0.1449 37.30

```

```

## 9 1.1e+10 15 14      1.017378 1.2400654 3.7077166 0.1449 37.36
## 10 1.2e+10 10 13     1.376470 0.8268738 2.2012308 0.2473 30.57
##   logDD          x          y                      geometry puntuacionz
## 1  0.7835072 334063.9 2067449 POLYGON ((334500 2067660, 3... -0.3477564
## 2  0.2753904 334582.9 2067514 POLYGON ((334500 2067390, 3... -1.5881086
## 3  1.6138079 334172.4 2067265 POLYGON ((334440 2067330, 3... 1.6790717
## 4  1.2084677 334366.4 2066754 POLYGON ((333840 2067180, 3... 0.6896049
## 5  0.2804618 333919.7 2066981 POLYGON ((333750 2067240, 3... -1.5757290
## 6  1.6878203 334365.9 2067039 POLYGON ((334380 2067240, 3... 1.8597417
## 7  0.5350394 333028.9 2066963 POLYGON ((332640 2067120, 3... -0.9542855
## 8  0.5746743 333771.9 2066901 POLYGON ((333540 2067090, 3... -0.8575337
## 9  0.0172283 333384.3 2066840 POLYGON ((333330 2067090, 3... -2.2183023
## 10 0.3195221 332580.6 2066931 POLYGON ((332280 2067000, 3... -1.4803799
##   lagpuntuacionz quad_sig
## 1    -0.09651158 not signif.
## 2     0.47680423 not signif.
## 3    -0.24687863 not signif.
## 4     0.66246843 not signif.
## 5     0.33117903 not signif.
## 6     0.17253009 not signif.
## 7    -1.53781663   low-low
## 8    -0.57779550 not signif.
## 9    -0.80337348   low-low
## 10   -1.49239924   low-low

```

MODELIZACION

Variable seleccionada Densidad de Drenaje

```

Varselpctlog <- Varselpol3 %>% mutate_each(
  funs(PCT=round(./DD,4)*100,
       PCTLLOG=log(round(./DD,4)*100)),
  -1, -2, -geometry, -label)

## Warning in log(round(logDD/DD, 4) * 100): NaNs produced

Varselpctlog

## Simple feature collection with 3027 features and 30 fields
## geometry type:  POLYGON
## dimension:      XY
## bbox:            xmin: 317400 ymin: 2019180 xmax: 352260 ymax: 2067690
## epsg (SRID):    32619
## proj4string:    +proj=utm +zone=19 +datum=WGS84 +units=m +no_defs
## First 10 features:
##   fid cat value label      DD      SF      ER      TS      MS
## 1  3.0e+09  2      1      2.189137 0.4974215 1.1522986 0.5194 26.44
## 2  4.0e+09  3      3      1.317045 1.5193957 6.7526210 0.0849 31.26

```

```

## 3 5.0e+09 7 2      5.021898 0.2158705 0.8774590 0.3870 24.12
## 4 6.0e+09 11 18    3.348350 0.3116489 0.7588246 0.7191 27.12
## 5 7.0e+09 8 8      1.323741 0.9530676 3.2504695 0.1449 36.98
## 6 8.0e+09 9 4      5.407681 0.2022916 0.7547642 0.4946 23.41
## 7 9.0e+09 12 10    1.707515 0.6384885 1.5645024 0.3621 34.67
## 8 1.0e+10 14 9     1.776552 0.7101480 2.8058127 0.1449 37.30
## 9 1.1e+10 15 14    1.017378 1.2400654 3.7077166 0.1449 37.36
## 10 1.2e+10 10 13   1.376470 0.8268738 2.2012308 0.2473 30.57
##           logDD          x          y                  geometry value_PCT
## 1  0.7835072 334063.9 2067449 POLYGON ((334500 2067660, 3...      45.68
## 2  0.2753904 334582.9 2067514 POLYGON ((334500 2067390, 3...      227.78
## 3  1.6138079 334172.4 2067265 POLYGON ((334440 2067330, 3...      39.83
## 4  1.2084677 334366.4 2066754 POLYGON ((333840 2067180, 3...      537.58
## 5  0.2804618 333919.7 2066981 POLYGON ((333750 2067240, 3...      604.35
## 6  1.6878203 334365.9 2067039 POLYGON ((334380 2067240, 3...      73.97
## 7  0.5350394 333028.9 2066963 POLYGON ((332640 2067120, 3...      585.65
## 8  0.5746743 333771.9 2066901 POLYGON ((333540 2067090, 3...      506.60
## 9  0.0172283 333384.3 2066840 POLYGON ((333330 2067090, 3...      1376.09
## 10 0.3195221 332580.6 2066931 POLYGON ((332280 2067000, 3...      944.45
##           DD_PCT SF_PCT ER_PCT TS_PCT MS_PCT logDD_PCT      x_PCT      y_PCT
## 1       100 22.72 52.64 23.73 1207.78      35.79 15260075 94441321
## 2       100 115.36 512.71  6.45 2373.50      20.91 25404065 156981278
## 3       100  4.30 17.47  7.71 480.30      32.14 6654306 41165011
## 4       100  9.31 22.66 21.48 809.95      36.09 9986005 61724553
## 5       100 72.00 245.55 10.95 2793.60      21.19 25225453 156146939
## 6       100  3.74 13.96  9.15 432.90      31.21 6183166 38224128
## 7       100 37.39 91.62 21.21 2030.44      31.33 19503709 121050909
## 8       100 39.97 157.94  8.16 2099.57      32.35 18787628 116343433
## 9       100 121.89 364.44 14.24 3672.19      1.69 32768985 203153658
## 10      100 60.07 159.92 17.97 2220.90      23.21 24161853 150161743
##           value_PCTL0G DD_PCTL0G SF_PCTL0G ER_PCTL0G TS_PCTL0G MS_PCTL0G
## 1       3.821661 4.60517 3.123246 3.963476 3.166740 7.096539
## 2       5.428380 4.60517 4.748058 6.239710 1.864080 7.772121
## 3       3.684620 4.60517 1.458615 2.860485 2.042518 6.174411
## 4       6.287078 4.60517 2.231089 3.120601 3.067122 6.696973
## 5       6.404154 4.60517 4.276666 5.503501 2.393339 7.935086
## 6       4.303660 4.60517 1.319086 2.636196 2.213754 6.070507
## 7       6.372722 4.60517 3.621403 4.517650 3.054473 7.616008
## 8       6.227722 4.60517 3.688129 5.062215 2.099244 7.649488
## 9       7.227001 4.60517 4.803119 5.898362 2.656055 8.208543
## 10      6.850603 4.60517 4.095511 5.074674 2.888704 7.705668
##           logDD_PCTL0G x_PCTL0G y_PCTL0G
## 1       3.5776685 16.54075 18.36349
## 2       3.0402275 17.05042 18.87164
## 3       3.4701014 15.71077 17.53310
## 4       3.5860158 16.11670 17.93819
## 5       3.0535294 17.04336 18.86631
## 6       3.4407386 15.63734 17.45898

```

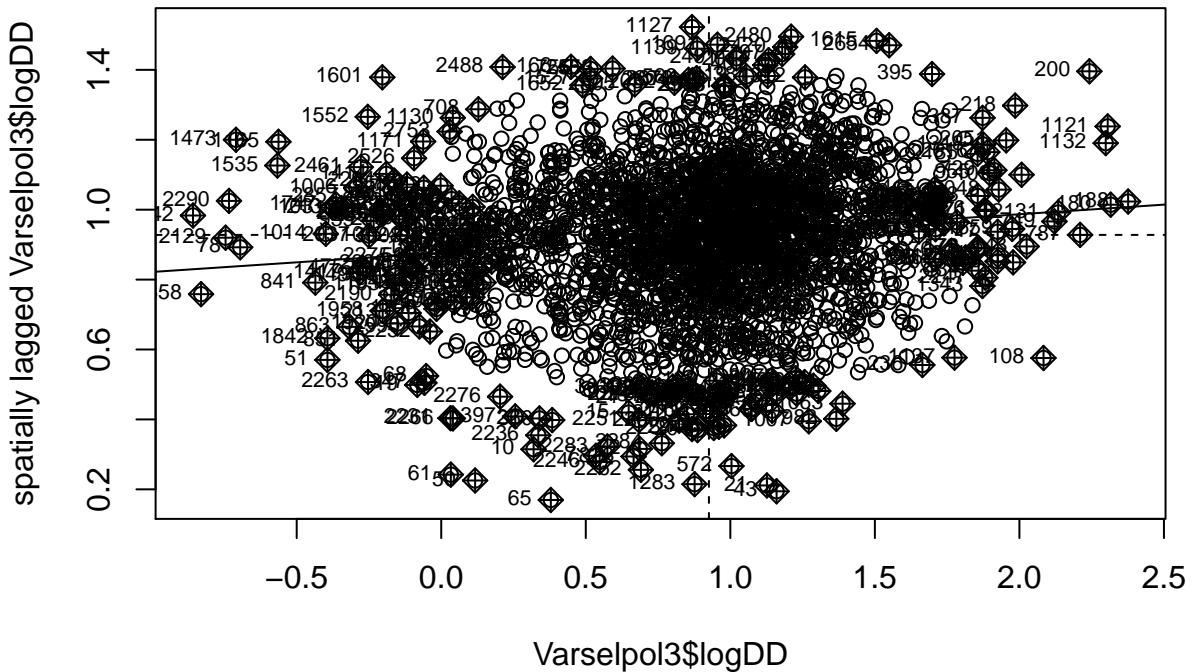
```

## 7      3.4445761 16.78612 18.61172
## 8      3.4766140 16.74871 18.57206
## 9      0.5247285 17.30499 19.12947
## 10     3.1445832 17.00029 18.82722

```

Comprobando autocorrelación mediante la prueba moran global

```
moran.plot(Varselpol3$logDD, PesoW)
```



```
(gmoranw <- moran.test(na.action = na.exclude, zero.policy = T,
                      x = log1p(datos$Drainage_Density_km_over_km2), listw = PesoW))
```

```

##
## Moran I test under randomisation
##
## data: log1p(datos$Drainage_Density_km_over_km2)
## weights: PesoW
##
## Moran I statistic standard deviate = -1.2064, p-value = 0.8862
## alternative hypothesis: greater
## sample estimates:
## Moran I statistic      Expectation      Variance
## -0.0136063144 -0.0003304693  0.0001210999

```

```
(gmoranb <- moran.test(na.action = na.exclude, zero.policy = T,
                      x = log1p(datos$Drainage_Density_km_over_km2), listw = PesowB))
```

```
##
```

```

## Moran I test under randomisation
##
## data: log1p(datos$Drainage_Density_km_over_km2)
## weights: PesowB
##
## Moran I statistic standard deviate = -1.2064, p-value = 0.8862
## alternative hypothesis: greater
## sample estimates:
## Moran I statistic      Expectation      Variance
##       -0.0136063144    -0.0003304693    0.0001210999

```

```

gmoranb <- moran.test(na.action = na.exclude, zero.policy = T,
                       x = Varselpctlog$logDD_PCT, listw = PesowB)
gmoranb

```

```

##
## Moran I test under randomisation
##
## data: Varselpctlog$logDD_PCT
## weights: PesowB
##
## Moran I statistic standard deviate = -0.20036, p-value = 0.5794
## alternative hypothesis: greater
## sample estimates:
## Moran I statistic      Expectation      Variance
##       -0.0024973085    -0.0003304693    0.0001169561

```

```

gmoranwl <- moran.test(na.action = na.exclude, zero.policy = T,
                        x = Varselpctlog$logDD_PCTLLOG, listw = Pesow )
gmoranwl

```

```

##
## Moran I test under randomisation
##
## data: Varselpctlog$logDD_PCTLLOG
## weights: Pesow
## omitted: 19, 26, 51, 68, 78, 103, 213, 249, 347, 413, 475, 521, 558, 566, 841, 851, 863, 886,
##
## Moran I statistic standard deviate = 2.7016, p-value = 0.00345
## alternative hypothesis: greater
## sample estimates:
## Moran I statistic      Expectation      Variance
##        0.0296463467    -0.0003382950    0.0001231837

```

```

gmoranbl <- moran.test(na.action = na.exclude, zero.policy = T,
                        x = Varselpctlog$logDD_PCTLLOG, listw = PesowB)
gmoranbl

```

```

##  

## Moran I test under randomisation  

##  

## data: Varselpctlog$logDD_PCTLOG  

## weights: PesowB  

## omitted: 19, 26, 51, 68, 78, 103, 213, 249, 347, 413, 475, 521, 558, 566, 841, 851, 863, 886,  

##  

## Moran I statistic standard deviate = 2.346, p-value = 0.009487  

## alternative hypothesis: greater  

## sample estimates:  

## Moran I statistic      Expectation      Variance  

##       0.0256387012    -0.0003382950     0.0001226045  

(gmoranwale<-moran.test(na.action = na.exclude, zero.policy = T,  

                         x=rnorm(3027),listw = Pesow))

```

```

##  

## Moran I test under randomisation  

##  

## data: rnorm(3027)  

## weights: Pesow  

##  

## Moran I statistic standard deviate = 2.1544, p-value = 0.0156  

## alternative hypothesis: greater  

## sample estimates:  

## Moran I statistic      Expectation      Variance  

##       0.0233804170    -0.0003304693     0.0001211259

```

Evaluación del supuesto de normalidad

```
shapiro.test(Varselpctlog$logDD_PCT)
```

```

##  

## Shapiro-Wilk normality test  

##  

## data: Varselpctlog$logDD_PCT  

## W = 0.33179, p-value < 2.2e-16

```

```
shapiro.test(Varselpctlog$logDD_PCTLOG)
```

```

##  

## Shapiro-Wilk normality test  

##  

## data: Varselpctlog$logDD_PCTLOG  

## W = 0.37252, p-value < 2.2e-16

```

Modelo lineal

```

modlin <- Varselpol3 %>%
  select(logDD, TS, MS, SF, ER) %>%
  st_drop_geometry() %>%
  lm(logDD ~ ., .)
modlin %>% summary

modlinc <- Varselpctlog %>%
  select(contains('_PCTLOG')) %>%
  st_drop_geometry() %>%
  lm(logDD_PCTL0G ~ ., .)
modlinc %>% summary

modlinc %>% bptest

```

Análisis del modelo espacial autoregresivo (SAR)

Análisis del modelo espacial autoregresivo (SAR) con el porcentaje logarítmico de las variables con radio de elongación

Análisis del modelo espacial autoregresivo (SAR) con las variables de porcentaje logarítmico sin radio de elongación

AUTOCORRELACION ESPACIAL LOCAL

```

Varselpol_lomo <- localmoran(Varselpctlog$logDD, listw = Pesow)
summary(Varselpol_lomo)

```

```

##          Ii           E.Ii          Var.Ii
##  Min.   :-3.04849   Min.   :-0.0003305   Min.   :0.1995
##  1st Qu.:-0.11440   1st Qu.:-0.0003305   1st Qu.:0.1995
##  Median : 0.01191   Median :-0.0003305   Median :0.1995
##  Mean   : 0.05503   Mean   :-0.0003305   Mean   :0.1995
##  3rd Qu.: 0.18858   3rd Qu.:-0.0003305   3rd Qu.:0.1995
##  Max.   : 3.68669   Max.   :-0.0003305   Max.   :0.1995
##          Z.Ii          Pr(z > 0)
##  Min.   :-6.8237    Min.   :0.0000
##  1st Qu.:-0.2553    1st Qu.:0.3362
##  Median : 0.0274    Median :0.4891
##  Mean   : 0.1239    Mean   :0.4736
##  3rd Qu.: 0.4229    3rd Qu.:0.6008
##  Max.   : 8.2538    Max.   :1.0000

```

```

Varselpctlog$sVarselpctlogDD <- scale (Varselpctlog$logDD) %>% as.vector()

Varselpctlog$laglogDD <- lag.listw(Pesow, Varselpctlog$logDD)

summary(Varselpctlog$sVarselpctlogDD)

```

```

##      Min. 1st Qu. Median  Mean 3rd Qu.  Max.
## -4.35640 -0.57965  0.09225  0.00000  0.64414  3.53990

```

```
summary(Varselpctlog$laglogDD)
```

```
##      Min. 1st Qu. Median     Mean 3rd Qu.    Max.
##  0.1696  0.8068  0.9401  0.9278  1.0569  1.5224
```

```
puntz <- Varselpctlog$sVarselpctlogDD
rezag <- Varselpctlog$laglogDD
df <- data.frame(puntz, rezag)

moran.plot(puntz, Pesow)
```

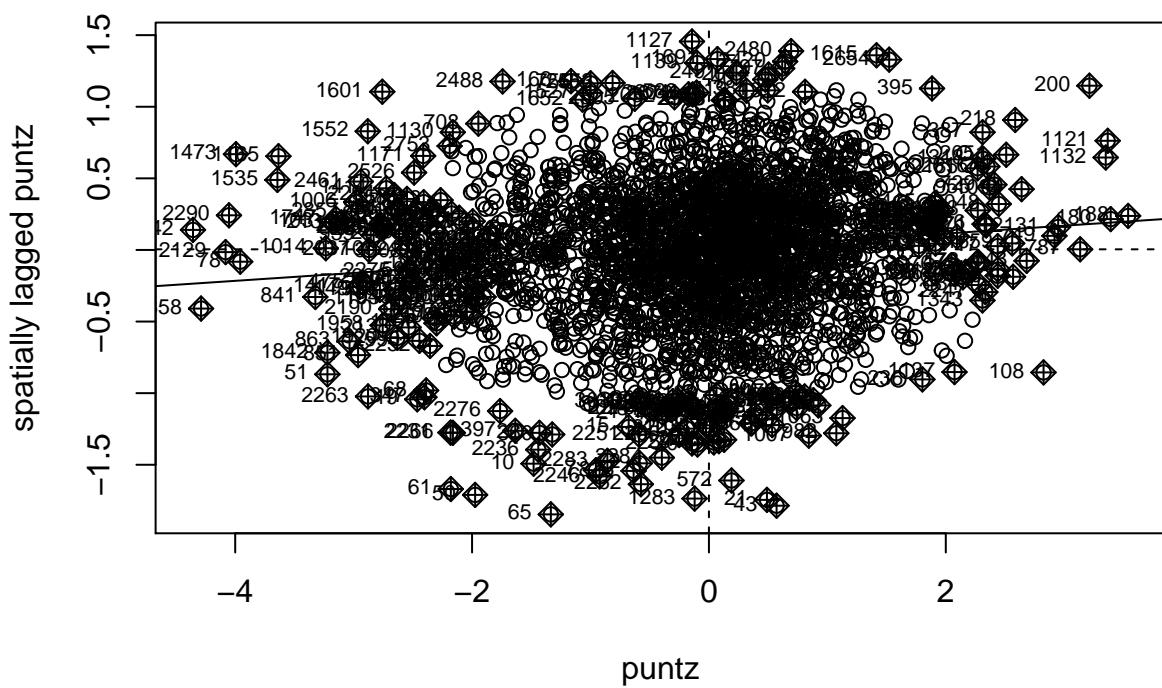
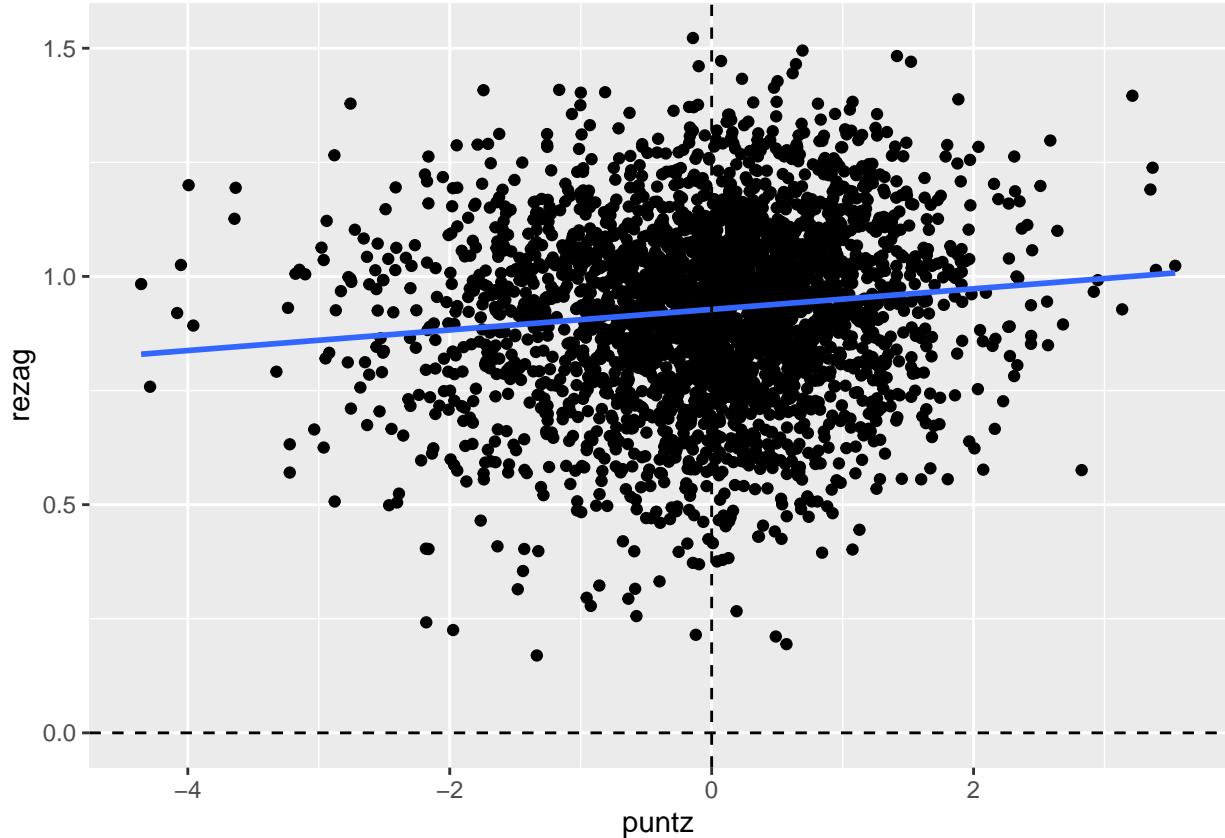


Diagrama de dispersión de Moran en ggplot

```
ggplot(df, aes(puntz, rezag)) +
  geom_point() + geom_smooth(method = 'lm', se = F) +
  geom_hline(yintercept = 0, linetype = 'dashed') +
  geom_vline(xintercept = 0, linetype = 'dashed')
```



Variable nueva sobre significancia de la correlación local, rellena con NAs

```
Varselpctlog$quad_sig <- NA
```

Cuadrante high-high

```
Varselpctlog[(Varselpctlog$sVarselpctlog >= 0 &
              Varselpctlog$laglogDD >= 0) &
              (Varselpol_lomo[, 4] <= 0.05), "quad_sig"] <- "high-high"
```

Cuadrante low-low

```
Varselpctlog[(Varselpctlog$sVarselpctlog <= 0 &
              Varselpctlog$laglogDD >= 0) &
              (Varselpol_lomo[, 4] <= 0.05), "quad_sig"] <- "low-low"
```

Cuadrante high-low

```
Varselpctlog[(Varselpctlog$sVarselpctlog >= 0 &
              Varselpctlog$laglogDD <= 0) &
              (Varselpol_lomo[, 4] <= 0.05), "quad_sig"] <- "high-low"
```

Cuadrante low-high

```
Varselpctlog[(Varselpctlog$sVarselpctlog <= 0 &
               Varselpctlog$laglogDD >= 0) &
               (Varselpol_lomo[, 4] <= 0.05), "quad_sig"] <- "low-high"
```

No significativas

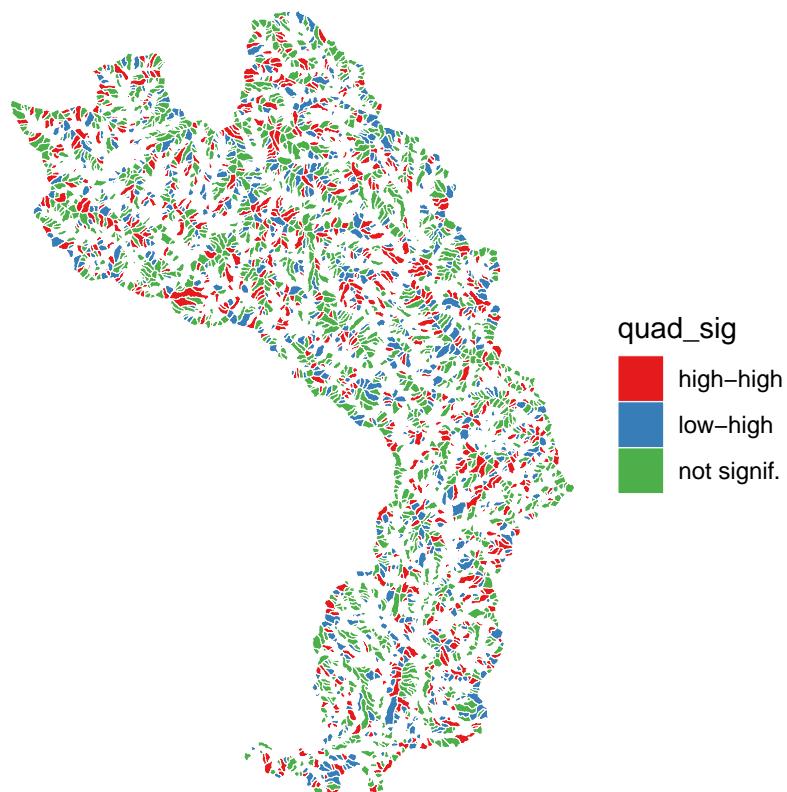
```
Varselpctlog[(Varselpol_lomo[, 4] > 0.05), "quad_sig"] <- "not signif."
```

Convertir a factorial

```
Varselpctlog$quad_sig <- as.factor(Varselpctlog$quad_sig)
```

Mapa Significancia

```
Varselpctlog %>%
  ggplot() +
  aes(fill = quad_sig) +
  geom_sf(color = "white", size = .05) +
  theme_void() + scale_fill_brewer(palette = "Set1")
```



KRIGING ORDINARIO

Asignación del sistema de referencia destino

```
crsdestino <- 32619
```

Creación de objeto para la interpolación

```
orden1logdd <- datos %>% mutate(logDD=log(Drainage_Density_km_over_km2)) %>% select(logDD)
```

VARIOGRAMA MODELO

Creación del objeto v para representar el variograma

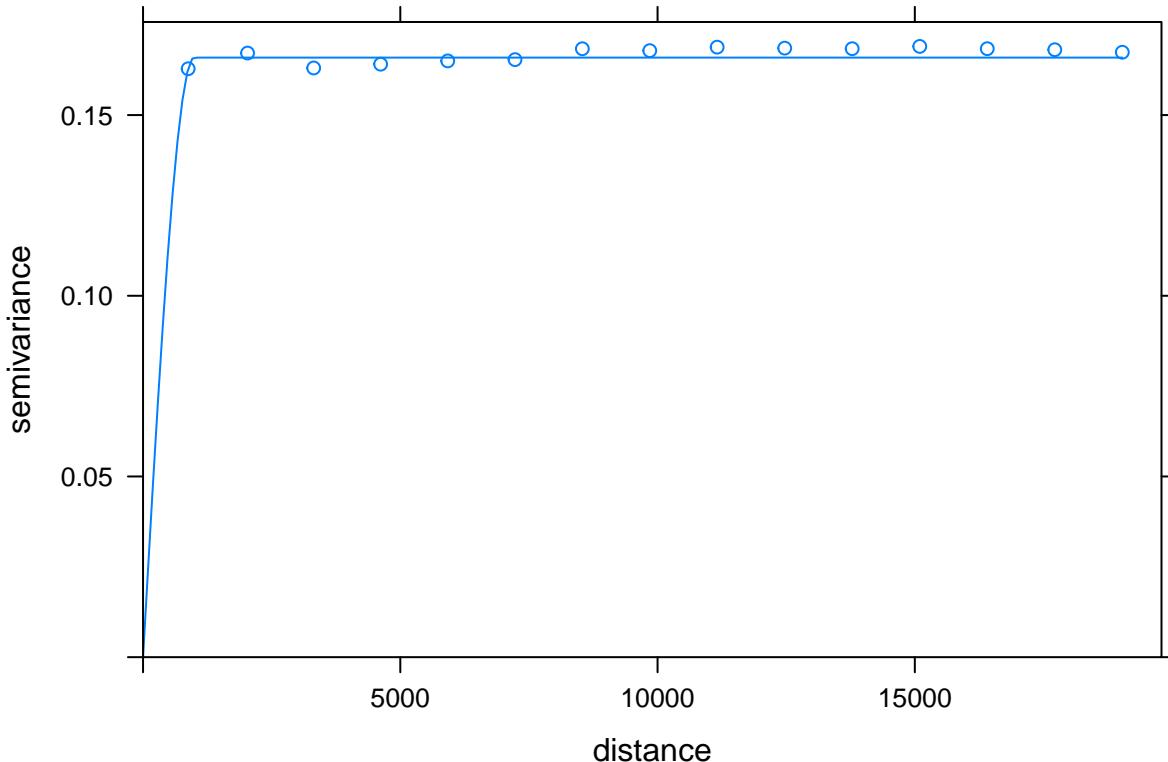
```
v <- variogram(logDD~1, orden1logdd)
```

Variograma modelo Esférico

```
v_m <- fit.variogram(v, vgm(model = "Sph", range = 1000))  
v_m
```

```
##   model      psill      range  
## 1   Sph 0.1658994 988.8336
```

```
plot(v, v_m)
```

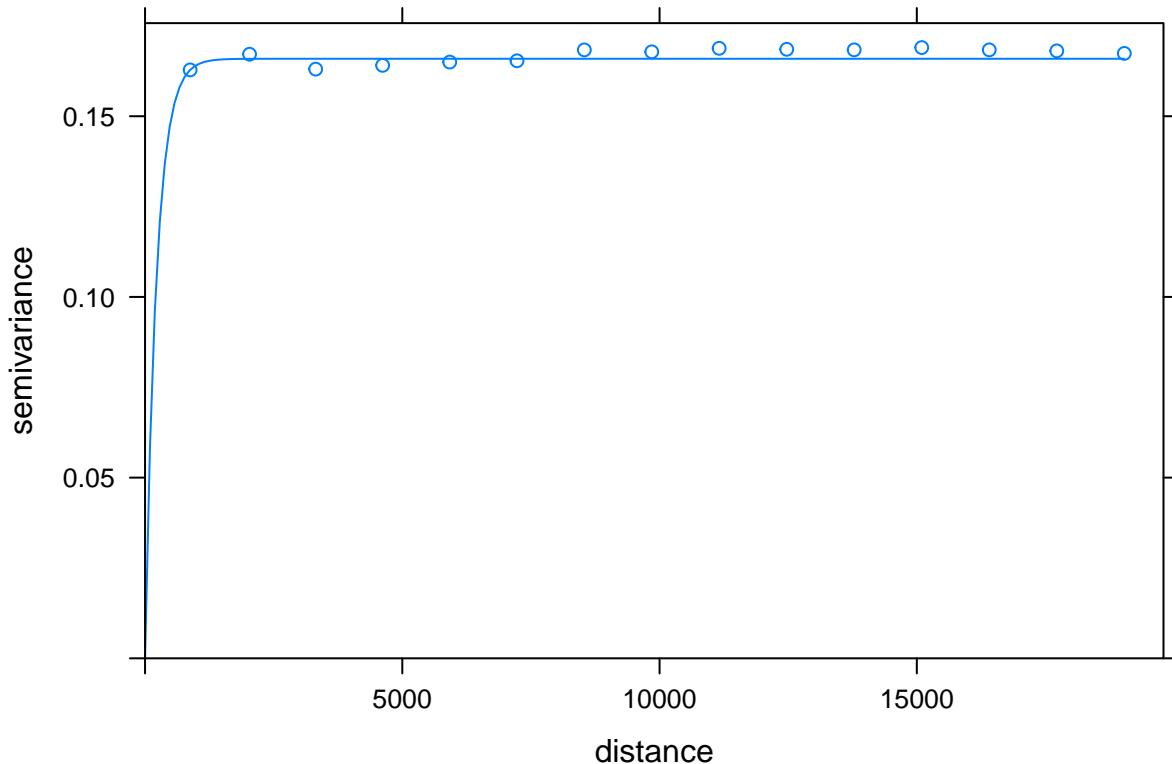


Variograma modelo Exponencial

```
v_m2 <- fit.variogram(v, vgm(model = "Exp", range = 1000))  
v_m2
```

```
##   model      psill      range  
## 1   Exp 0.1658997 219.8573
```

```
plot(v, v_m2)
```



Variograma modelo Gauseano

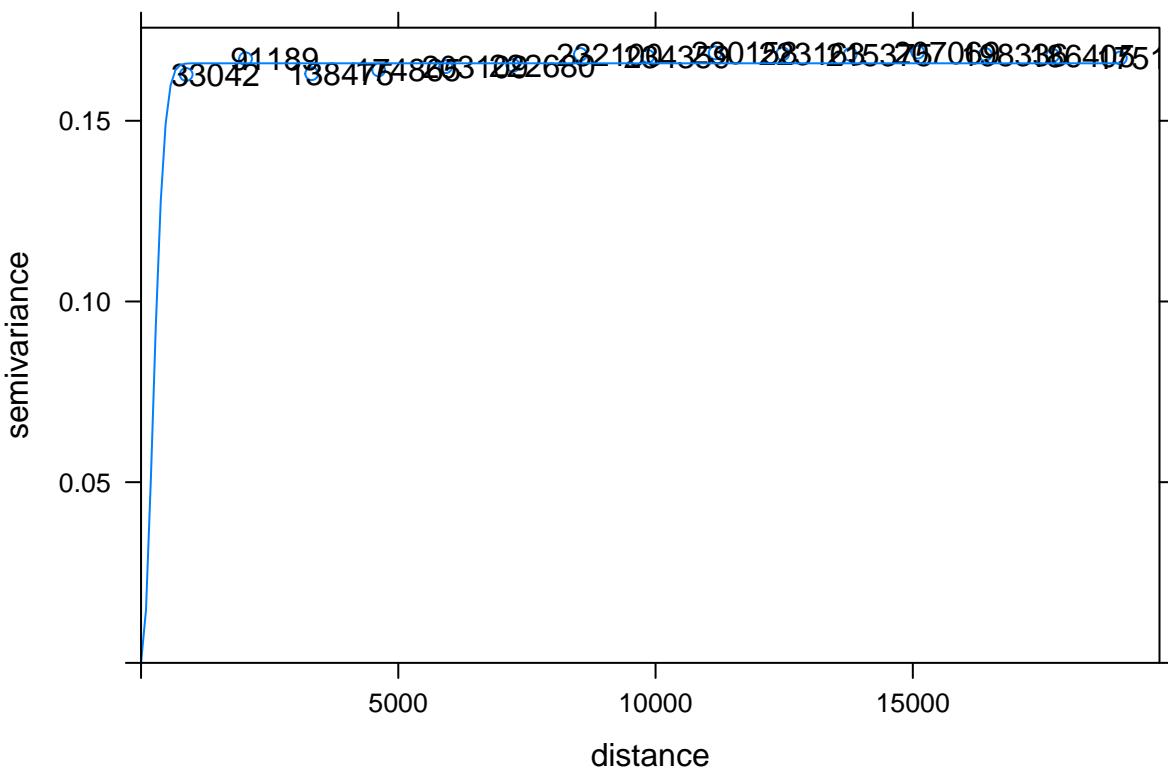
```
v_m3 <- fit.variogram(v, vgm(model = "Gau", range = 1000))
```

```
## Warning in fit.variogram(v, vgm(model = "Gau", range = 1000)): No  
## convergence after 200 iterations: try different initial values?
```

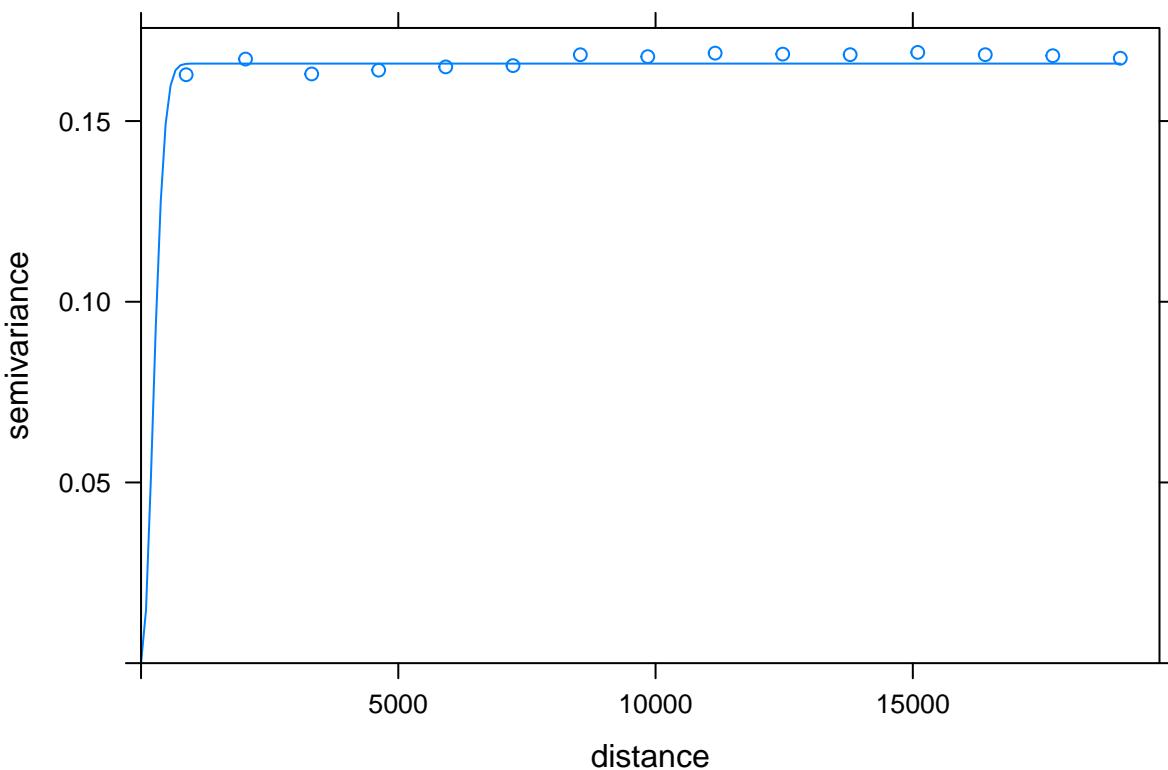
```
v_m3
```

```
##   model    psill    range  
## 1   Gau 0.1658993 315.4503
```

```
plot(v, v_m3, plot.numbers = T)
```



```
plot(v, v_m3)
```



Atributos de Error

```
attr(v_m, 'SSErr') # Este fue el elegido por tener el menor valor
```

```
## [1] 2.496814e-07
```

```
attr(v_m2, 'SSErr')
```

```
## [1] 2.505845e-07
```

```
attr(v_m3, 'SSErr')
```

```
## [1] 6.398799e-07
```

Creación de cuadricula para la interpolación

```
grd <- st_bbox(orden1logdd) %>%
  st_as_stars(dx = 500) %>% #5000 metros= 0.5 km de resolución espacial
  st_set_crs(crsdestino)
grd
```

```
## stars object with 2 dimensions and 1 attribute
```

```
## attribute(s):
```

```
##   values
```

```
##   Min.    :0
```

```
##   1st Qu.:0
```

```
##   Median :0
```

```
##   Mean    :0
```

```
##   3rd Qu.:0
```

```
##   Max.    :0
```

```
## dimension(s):
```

```
##   from to offset delta           refsys point values
```

```
## x     1 69  317775  500 +proj=utm +zone=19 +datum... NA NULL [x]
```

```
## y     1 97  2067525 -500 +proj=utm +zone=19 +datum... NA NULL [y]
```

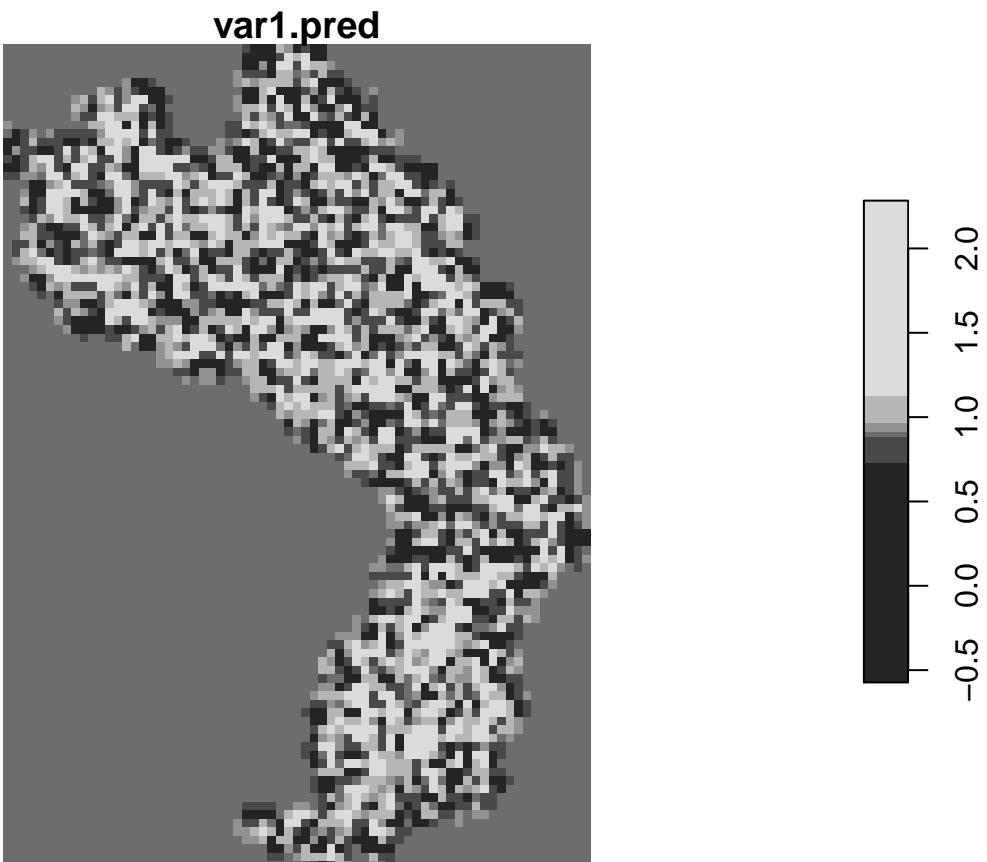
```
plot(grd)
```

values



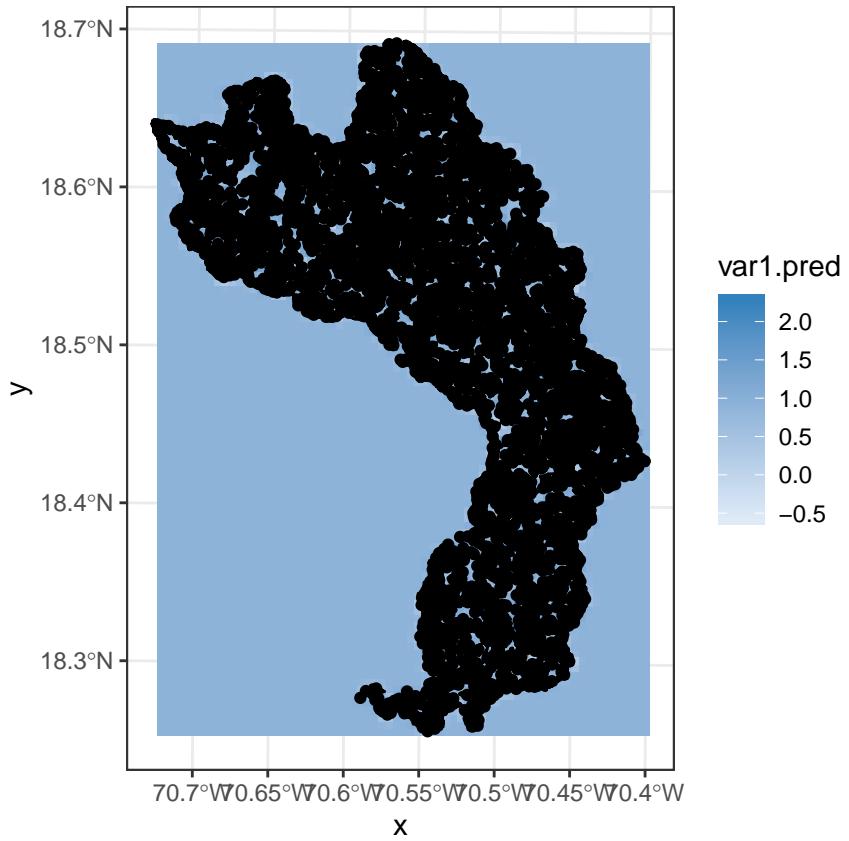
Mapa Kriging ordinario

```
#k <- krige(formula = logDD~1, locations = orden1logdd, newdata = grd, model = v_m)
# Se ejecutó el kriging y se guardó en memoria como un objeto RDS, para luego ser leído a través
k <- readRDS('k.RDS')
plot(k)
```

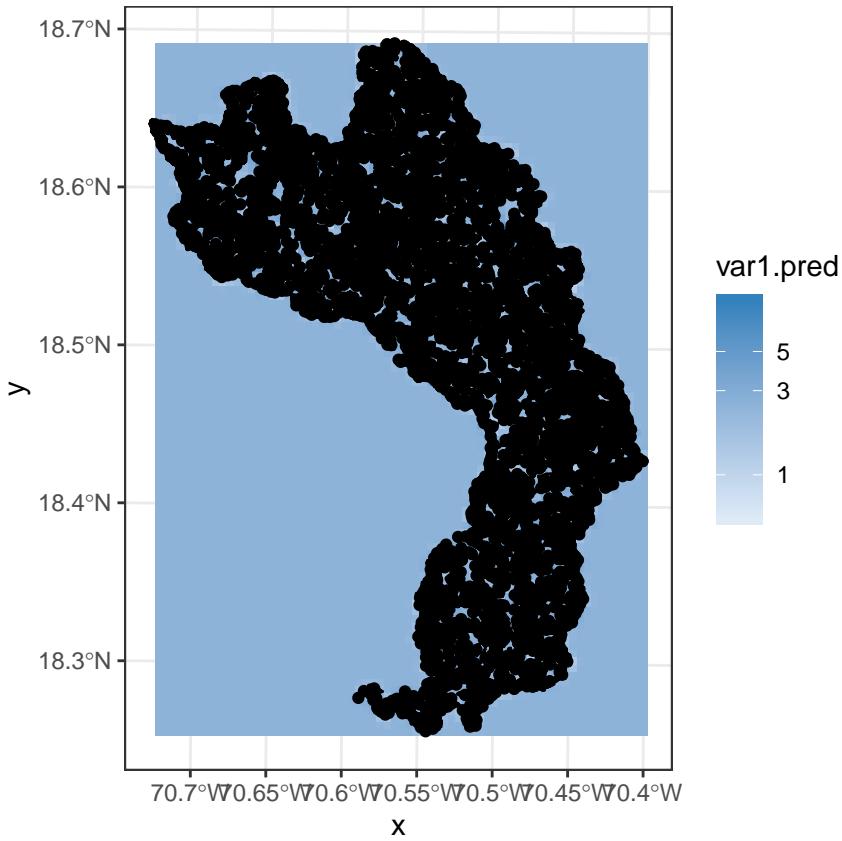


Representación ggplot objeto stars

```
ggplot() +
  geom_stars(data = k, aes(fill = var1.pred, x = x, y = y)) +
  scale_fill_gradient(low="#deebf7", high="#3182bd") +
  geom_sf(data = st_cast(Varselpol3, "MULTILINESTRING")) +
  geom_sf(data = orden1logdd) +
  geom_sf_text(data = Varselpol3, aes(label=')'), check_overlap = T, size = 1) +
  theme_bw()
```



```
ggplot() +
  geom_stars(data = exp(k), aes(fill = var1.pred, x = x, y = y)) +
  scale_fill_gradient(low="#deebf7", high="#3182bd", trans = 'log10') +
  geom_sf(data = st_cast(Varselpol3, "MULTILINESTRING")) +
  geom_sf(data = orden1logdd) +
  geom_sf_text(data = Varselpol3, aes(label='')), check_overlap = T, size = 1) +
  theme_bw()
```



17 Conclusiones

Las conclusiones de este ejercicio académico se limita a los análisis de los resultados de cada una de las pruebas de supuestos aplicadas. No es posible hacer inferencias conclusivas dado el limitado número de variables utilizadas en el análisis en relación con la gran cantidad de variables interviniéntes en la dinámica de una cuenca hidrográfica que deberían tomarse en cuenta para diseñar un modelo de predicción de esta índole.

...

18 Referencias

Aldstadt, J. (2010). *Handbook of applied spatial analysis. software tools, methods and applications* (p. 828). Editorial Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Bivand, E. y G.-R., R; Pebesma. (2013). *Applied spatial data analysis with r* (second). Springer New York Heidelberg Dordrecht London.

Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociacion espacial. importancia, estructura y aplicacion. *Revista Universitaria de Geografia*, 18, 11–31.

Di Leo Margherita, D. S. M. (2013). *An open-source approach for catchment's physiographic characterization*. San Francisco, CA, USA 9-13 Dec. abstract NASA EOSDIS Land Processes DAAC,

USGS Earth Resources Observation; Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota: <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/addons/r.basin.html#cite-as/>.

González de M., A. I. (2004). Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. 38, 311–329.

Olaya, V. (2011). *Libro sig.* https://wiki.osgeo.org/wiki/Libro_SIG/.

Parra, F. (2019). *Proyecciones de población econometría espacial.* RPubs: <https://rpubs.com/PacoParra/4>

Strahler, A. N. (1957). *Quantitative analysis of watershed geomorphology.* eos, transactions american geophysical union. Quantitative analysis of watershed geomorphology: <https://pdfs.semanticscholar.org/3ca6/892addbb48f2858886f6380a194671410386.pdf/>.