

X Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo (UMS 2020)

A Coruña (España), 16-18 Noviembre 2020

CORRELACIONES CANÓNICAS ENTRE ÍNDICES DE VEGETACIÓN, SALINIDAD Y HUMEDAD DEL SUELO OBTENIDOS MEDIANTE SENSORAMIENTO REMOTO

Juan Alejandro Villazón Gómez¹, Roberto Alejandro García Reyes² y Ramón Núñez Tablada³

¹MSc., Profesor Auxiliar. Universidad de Holguín, Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR). Ave. de los Libertadores, km 3½, No. 287, Holguín, Cuba. e-mail: villazon@uho.edu.cu o villazon1975@gmail.com.

²Ing., Profesor Instructor. Universidad de Holguín. Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Agropecuarias.

³Dr.C, Profesor Titular. Universidad de Holguín, Sede José de la Luz y Caballero, Facultad de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Centro de Estudios para Agroecosistemas Áridos (CEAAR).

INTRODUCCIÓN

La salinidad en el suelo constituye un serio problema medioambiental, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas de nuestro planeta. La misma puede aparecer de forma natural o inducida por el hombre. Los altos niveles de salinidad del suelo afectan negativamente el desarrollo de los cultivos y degradan los suelos, lo cual provoca la disminución de su capacidad agroproductiva.

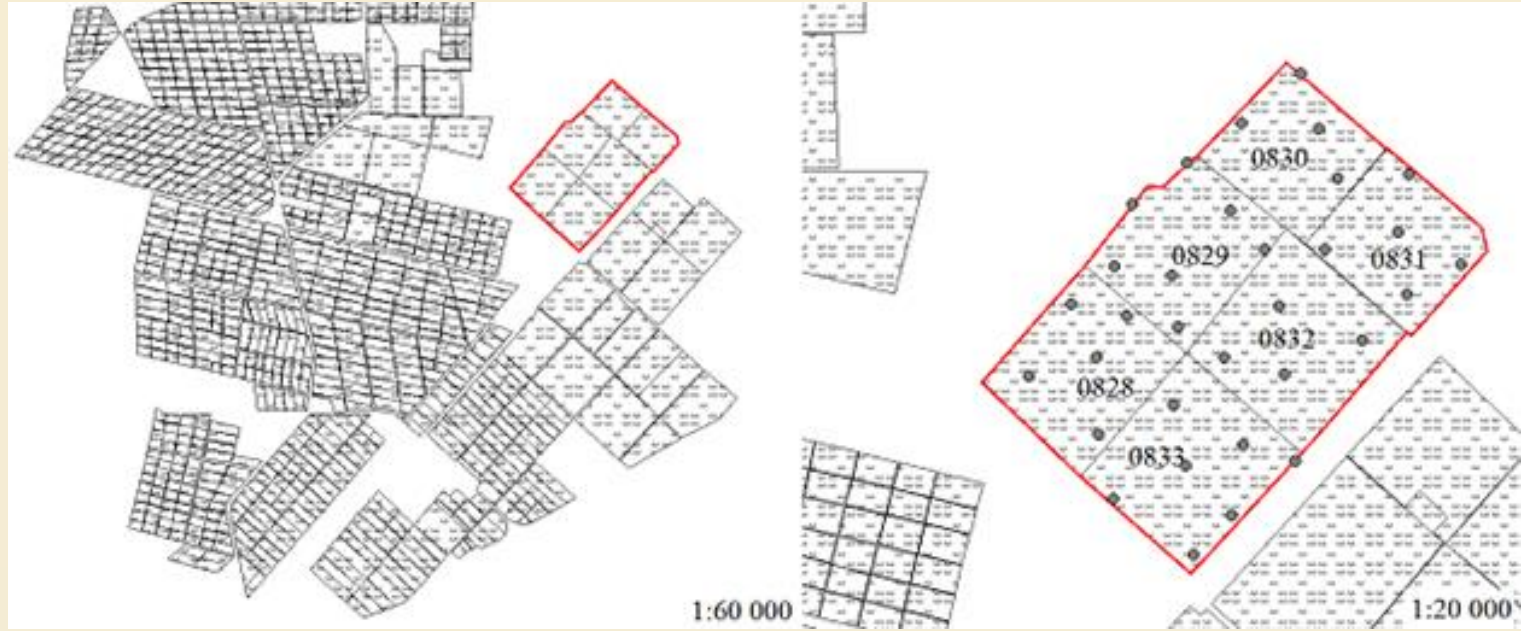
El sensoramiento remoto ocupa un lugar notable en el desarrollo de investigaciones agrícolas. Mediante el mismo se reducen los costos, se ahorra tiempo y se pueden realizar proyectos que de otra forma no serían posibles.

Mediante el sensoramiento remoto se puede obtener la más variada información de la superficie terrestre (el suelo) en áreas agrícolas y la interacción de las plantas con el mismo.

Por las razones antes expuestas el objetivo de este trabajo es identificar, mediante correlaciones canónicas, asociaciones entre conjuntos de índices de vegetación, salinidad y humedad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en áreas cañeras, plantadas sobre un Gleysol Crómico (Hernández *et al.*, 2015), pertenecientes a los bloques 828, 829, 830, 831, 832 y 833 de la UBPC Camilo Cienfuegos, de la UEB Urbano Noris, perteneciente a la Empresa Azucarera Holguín, Cuba.



Los datos de teledetección se obtuvieron de la imagen Landsat-8 OLI y TIRS tomada el 3 de mayo del 2020. Se implementaron correcciones atmosféricas y radiométricas típicas y se mejoró la resolución espacial para cada banda individualmente. Dentro del área objeto de estudio se escogieron al azar 32 puntos espaciados a una distancia de 30 m.

En cada uno de ellos se tomaron los valores de los siguientes índices espectrales.

Índices de vegetación Normalized Differential Vegetation Index (Chen <i>et al.</i> , 2005): $NDVI = \frac{NIR_{858nm} - R_{640nm}}{NIR_{858nm} + R_{640nm}} \quad (1)$ Enhanced Vegetation Index (Liu y Huete, 1995): $EVI = \frac{2.5(NIR - R)}{NIR + 6R - 7.5B + 1} \quad (2)$ Soil Adjusted Vegetation Index (Huete, 1988): $SAVI = \frac{NIR - R}{(NIR + R + L) * (1 + L)} \quad (3)$ Ratio Vegetation Index (Major <i>et al.</i> , 1990): $RVI = \frac{NIR}{R} \quad (4)$	Índices de salinidad $SI_2 = \sqrt{G^2 + R^2 + NIR^2} \quad (5)$ $SI_{1,2} = \frac{ALI6 - ALI9}{ALI6 + ALI9} \quad (6)$ $SI_2 = \frac{B - R}{B + R} \quad (7)$ $SI_6 = \frac{R * NIR}{G} \quad (8)$	Índices de humedad. Normalized Vegetation Index (Chen <i>et al.</i> , 2005): $NDWI_{1640} = \frac{NIR_{858nm} - SWIR_{1640nm}}{NIR_{858nm} + SWIR_{1640nm}} \quad (9)$ $NDWI_{2130} = \frac{NIR_{858nm} - SWIR_{2130nm}}{NIR_{858nm} + SWIR_{2130nm}} \quad (10)$ Índice de deficiencia de Humedad (Dominguez <i>et al.</i> , 2017): $MSI = \frac{SWIR1}{NIR} \quad (11)$ Normalized Difference Drought Index (Gu <i>et al.</i> , 2007): $NDDI = \frac{NDVI - ENDWI}{NDVI + ENDWI}$
--	---	--

Con los resultados obtenidos mediante el software ARGIS 3.0, de los índices de vegetación, salinidad y humedad se comprobó si existía una distribución normal y se estructuró una matriz de datos por columnas y se efectuó un análisis de Correlaciones Canónicas (índices de salinidad vs. índices de vegetación, índices de humedad vs. índices de vegetación, índices de humedad vs. índices de salinidad) y demostrar, en cada caso, las asociaciones entre dos conjuntos cualitativos de variables. Para el análisis estadístico se utilizó el software Statgraphics Centurión XV.II.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 muestra los valores obtenidos durante el análisis de Correlaciones Canónicas. En el caso de la correlación canónica entre índices de salinidad vs. índices de vegetación, las tres primeras funciones canónicas muestran un P-level por debajo de 0.05; por lo que, al trabajar con un nivel de confianza del 95%, corresponden a correlaciones canónicas significativamente diferentes de 0. Con respecto a las correlaciones canónicas índices de humedad vs. índices de vegetación e índices de humedad vs. índices de salinidad, solo las dos primeras funciones, de cada uno, fueron significativamente diferentes de 0.

En los tres análisis de Correlaciones Canónicas, sobre todo en índices de humedad vs. índices de salinidad, la primera función es especialmente fuerte por su alta correlación canónica (0.981135, 0.942733 y 0.993997) y la lambda de Wilk (λ), cercana a 0. Lo que indica que, en todos los casos, las variables independientes contabilizan casi la totalidad de la varianza y que existe una relación de dependencia entre los dos grupos de variables.

De igual forma, para los tres casos, en la segunda función también es alto el valor de su correlación canónica (0.79998, 0.863465 y 0.957935), aunque la lambda de Wilk (0.227891, 0.245917 y 0.0790468) muestra que existe una menor contabilización de la varianza por parte de las variables independientes.

Funciones canónicas	Valor del eje	Correlación canónica	Lambda de Wilk	Chi-cuadrada	Grados de libertad	P-level
Índices de salinidad vs. índices de vegetación						
1	0.962626	0.981135	0.00851729	126.29	16	0.0000
2	0.639968	0.79998	0.227891	39.1906	9	0.0000
3	0.348455	0.5903	0.632973	12.1192	4	0.0165
4	0.0285048	0.168834	0.971495	0.766351	1	0.3813
Índices de humedad vs. índices de vegetación						
1	0.888746	0.942733	0.0273593	95.3655	16	0.0000
2	0.745572	0.863465	0.245917	37.1732	9	0.0000
3	0.0330167	0.181705	0.966548	0.901657	4	0.9243
4	0.000450665	0.0212289	0.999549	0.0119453	1	0.9130
Índices de humedad vs. índices de salinidad						
1	0.988031	0.993997	0.000946143	184.523	16	0.0000
2	0.917639	0.957935	0.0790468	67.2495	9	0.0000
3	0.0344186	0.185523	0.959764	1.08829	4	0.8961
4	0.00602453	0.0776179	0.993975	0.160133	1	0.6890

Para los índices de humedad vs. índices de vegetación, el valor de $r^2 = 0.972641$, para la primera función y $r^2 = 0.754083$, para la segunda. En el caso de los índices de humedad vs. índices de salinidad $r^2 = 0.999054$ (primera función) y $r^2 = 0.920953$ (segunda función).

A partir de la construcción de combinaciones lineales entre las variables de cada conjunto, donde se estandarizaron las variables a partir de la sustracción de la media y la división entre la desviación estándar, se encontraron las correlaciones más grandes.

Para los índices de salinidad vs. índices de vegetación la primera función canónica asociada es:

$$U_1 = 2.21349 * SI_2 + 5.91892 * SI_6 + 0.0177013 * SI_2 - 2.72527 * SI_2 \quad (13)$$

$$V_1 = 0.0064433 * EVI + 45.1345 * NDVI + 11.1088 * RVI - 55.2952 * SAVI \quad (14)$$

La segunda función canónica asociada es:

$$U_2 = -1.46661 * SI_2 - 0.217326 * SI_6 - 1.79821 * SI_2 + 0.566116 * SI_2 \quad (15)$$

$$V_2 = -0.232854 * EVI - 115.471 * NDVI + 28.6163 * RVI + 86.6498 * SAVI \quad (16)$$

Para los índices de humedad vs. índices de vegetación la primera función canónica asociada es:

$$U_1 = 1.905 * NDWI_{2130} + 9.12282 * MSI - 0.0457325 * NDDI + 7.73899 * NDWI_{1640} \quad (17)$$

$$V_1 = -0.11801 * EVI - 46.7113 * NDVI + 14.288 * RVI + 33.3384 * SAVI \quad (18)$$

La segunda función canónica asociada es:

$$U_2 = -0.283745 * NDWI_{2130} + 20.6244 * MSI + 0.0114271 * NDDI + 21.6144 * NDWI_{1640} \quad (19)$$

$$V_2 = 0.0874496 * EVI - 182.983 * NDVI + 26.3619 * RVI + 156.165 * SAVI \quad (20)$$

Para los índices de humedad vs. índices de salinidad la primera función canónica asociada es:

$$U_1 = 0.756701 * NDWI_{2130} - 1.18875 * MSI - 0.0303641 * NDDI - 2.73964 * NDWI_{1640} \quad (21)$$

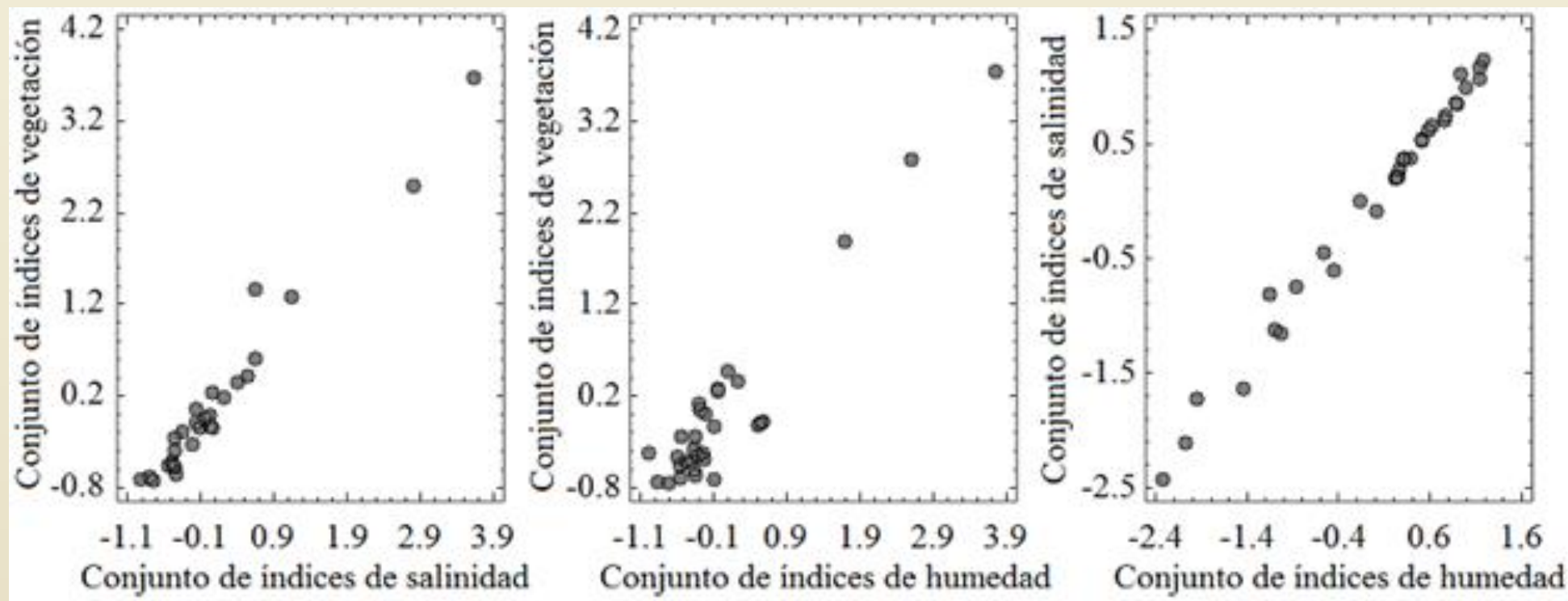
$$V_1 = 0.005584 * SI_2 + 1.86206 * SI_6 + 1.55779 * SI_2 - 2.97788 * SI_2 \quad (22)$$

La segunda función canónica asociada es:

$$U_2 = -1.79952 * NDWI_{2130} - 8.90735 * MSI - 0.00102622 * NDDI - 7.78439 * NDWI_{1640} \quad (23)$$

$$V_2 = 0.295516 * SI_2 - 5.95146 * SI_6 + 0.88988 * SI_2 + 4.63609 * SI_2 \quad (24)$$

La Figura muestra, de forma gráfica, las correlaciones canónicas existentes entre los conjuntos de variables explicativas vs. variables explicadas. Puede apreciarse que en estas tres correlaciones canónicas entre dos conjuntos de variables existe una relación lineal con una dispersión regular alrededor de los valores centrales del modelo, aunque con una cierta discontinuidad. En el caso de los pares índices de salinidad vs. índices de vegetación e índices de humedad vs. índices de vegetación la dispersión antes mencionada es menos uniforme y la discontinuidad se concentra hacia los valores más altos en cada correlación.



Estos fenómenos no se manifiestan de la misma forma en la correlación canónica índices de humedad vs. índices de salinidad, donde hay una menor discontinuidad, concentrada hacia los valores negativos de la correlación, y la dispersión de los puntos alrededor de los valores centrales del modelo es menos notable.

De esta manera, cualquier variación que ocurra en el estado de la salinidad o el contenido de humedad del suelo provocará cambios en la vegetación (caña de azúcar). De la misma forma, las variaciones en el antes mencionado contenido de humedad influirán también en el comportamiento de la salinidad del suelo.

CONCLUSIONES

El análisis de Correlaciones Canónicas muestra la existencia de relación entre los conjuntos índices de salinidad vs. índices de vegetación, índices de humedad vs. índices de vegetación e índices de humedad vs. índices de salinidad.

En cada par de conjuntos de variables, las dos primeras funciones canónicas muestran una fuerte correlación, con las variables independientes que contabilizan la casi totalidad de la varianza.

La representación gráfica de las correlaciones canónicas muestra que esta es lineal y se encuentra dispersada regularmente a lo largo de los valores centrales del modelo, sobre todo en índices de humedad vs. índices de salinidad. En este mismo par de conjuntos de variables, la discontinuidad de los valores se muestra hacia los valores negativos de la correlación canónica.