

Valores de permeabilidad en sabanas susceptibles a sequía en Paz de Ariporo, Casanare (Colombia)

Heiner Chaparro L.^{1*}, Jorge E. Mariño M.¹, Héctor Fonseca P.¹

Resumen

Las sequías periódicas en el Casanare han hecho pensar en la utilización del agua subterránea para proveer de agua durante la época seca. Sin embargo, se presenta la controversia de si la infiltración es suficiente para recargar los acuíferos superficiales. Los estudios preliminares muestran que estadísticamente la recarga es mínima por la alta evapotranspiración durante la época seca. Para aclarar lo anterior se adelantaron análisis de permeabilidad de los suelos y análisis de granulometría. Los valores de los ensayos de permeabilidad se encontraron entre 0,016 y 0,033 cm/s que indican que los suelos de los diferentes puntos de las veredas Caño Chiquito y Centro Gaitán son arenosos. Los ensayos de granulometría confirman que los suelos son arenosos. Si se extrapola la permeabilidad a partir del tamaño de grano, el coeficiente de permeabilidad estaría entre 10-2 y 10-3 cm/s que corresponde a arenas con buena permeabilidad. De acuerdo con estos resultados, se confirma la hipótesis de que los suelos son preferencialmente arenosos porque se depositaron cerca al curso de los ríos con influencia eólica, lo que favorece la recarga vertical.

Palabras claves

Acuíferos — Granulometría — Permeabilidad — Sequía — Suelos — Recarga — Casanare

¹ Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad seccional Sogamoso, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Boyacá, Colombia.

*Autor para correspondencia: heiner.chaparro@uptc.edu.co

Introducción

La sequía que afectó a Colombia y en especial a Casanare en 2014-2015 causó muchos daños en el departamento de Casanare, especialmente en las sabanas inundables de Paz de Ariporo, donde murió gran cantidad de fauna especialmente ganado vacuno y chigüiros. La sequía no se debe a la falta de precipitación porque en Paz de Ariporo la precipitación está cerca de los 2.100 milímetros al año, lo que supera las lluvias del altiplano que están entre 800 y 1.000. Sin embargo, la precipitación se centra entre mayo y septiembre, con su pico más alto en julio, con cerca de 300 milímetros, pero el resto de meses se pueden catalogar como secos, principalmente al fin y comienzo del año cuando la sequía hace estragos (IGAC, 1999; Sarmiento et al., 1971).

Muchas son las explicaciones que se han dado sobre dicha sequía: excesiva ganadería, limitada capacidad productiva de los suelos, los cultivos agrícolas y el pastoreo en zonas en el páramo, el régimen de precipitación de la región y la posible afectación de acuíferos por la actividad petrolera.

Con la configuración hidrológica de grandes ríos con cauces meandricos y migrantes, con desbordes estacionales durante miles de años, con controles regionales de los ríos Meta y Orinoco, hoy en día la zona de estudio es un extenso depósito aluvial con presencia de depósitos arenosos, limosos, y arcillosos, con espesores variables, distribuidos indistintamente, según la posición del cauce del río en el tiempo y espacio durante los desbordes, esto es: sedimentos arenosos cerca de los cauces, y los sedimentos más

finos distantes de los mismos. Independiente de la cambiante distribución lateral de los sedimentos, el depósito hoy se comporta como un extenso acuífero libre que se recarga anualmente durante cerca de siete meses en los que la sabana está cubierta de agua (EIA, 2005). De igual manera, la configuración geomorfológica y edáfica de los modelos actuales de la llanura aluvial, favorecen o no la estanqueidad del agua superficial durante los periodos de estiaje (noviembre a marzo) (IGAC, 1993). Las zonas deprimidas de fondos con suelos arcillosos denominados bajos o esteros que pueden retener espejos de agua, en donde su sostenibilidad depende principalmente de las tasas de evaporación de los volúmenes estancados al final del periodo lluvioso, o esporádicas lluvias durante el estiaje, mientras, que los suelos con horizontes superficiales arenosos, experimentan un descenso rápido y continuo del agua acumulada superficialmente tanto por infiltración como por evaporación, hasta cuando se den nuevamente las condiciones de recarga por lluvia y desborde (IGAC 1993, IGAC 1999, Ingeominas-UPTC, 2007).

La presente investigación se centró en estudiar las características de los suelos de las sabanas inundables, en especial la permeabilidad o habilidad para retener y permitir el paso del agua a partir de las siguientes dos hipótesis:

1. En zonas con influencia fluvial, como en las sabanas estacionales inundables de Paz de Ariporo, se esperaría que la inundación periódica de los ríos cubriera la sabana con materiales arcillosos finos producto del desborde de los

ríos, el material fino depositado por suspensión impermeabilizaría los suelos e impediría la recarga vertical directa (Ingeominas-UPTC, 2007).

- Por el contrario, los estudios del Instituto Geográfico Agustín Codazzi encontraron que los suelos de la Orinoquia son arenosos por haberse formado cerca al desborde de los ríos (IGAC, 2013). Por lo tanto, cuando se acaba la temporada de lluvias, los suelos no son capaces de retener agua para las fuertes temporadas de sequía, razón por la cual el terreno queda seco. A esto se suma la compactación de los suelos por el ganado.

Para tratar de decidir sobre las hipótesis anteriores, se decidió adelantar unos estudios de permeabilidad, y a partir de estos determinar el tamaño de grano de los suelos en diferentes sectores de las sabanas de Paz de Ariporo, especialmente en las veredas de Caño Chiquito y Centro Gaitán donde murió la mayor cantidad de fauna durante la sequía de 2014-2015 (Figuras 1 y 2).

El estudio se justifica porque permitirá determinar si la recarga de los acuíferos superficiales es vertical y se hace directamente a través del suelo, o es regional a través de la infiltración en el piedemonte. La recarga de los acuíferos es crítica en este tiempo en el que se tiene grandes expectativas de cultivos industriales en la Orinoquia lo que requeriría grandes cantidades de agua y gran parte de esta sería de origen subterráneo.

LOCALIZACIÓN



Figura 1. Ubicación del Área de estudio.

1. Materiales y Métodos

1.1 Ensayo de carga constante decreciente

Este ensayo de campo consta de los siguientes materiales para su realización:

- Tubo PVC de 6"
- Barra
- Palustre
- Agua
- Cronómetro

UBICACIÓN DE PUNTOS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD
PAZ DE ARIPORO - CASANARE

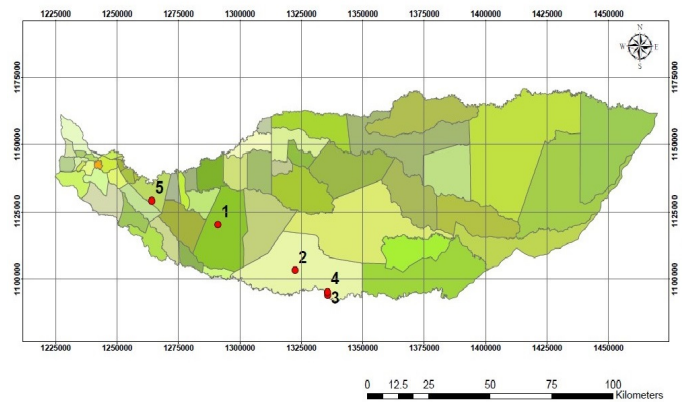


Figura 2. Ubicación de zonas de Muestreo.

■ Metro

Haciendo una perforación al suelo de aproximadamente 20 cm de área y de 1 m de profundidad, se obtienen las dimensiones aptas para introducir un tubo de PVC de 6" de diámetro y 1 m de largo, el cual se clava al fondo de la perforación permitiendo infiltración únicamente en el área de su base, el tubo se llena con agua completamente, la que luego podrá filtrarse hacia el suelo. La tasa de cambio del nivel superficial de agua se observa midiendo la profundidad del nivel de agua debajo del extremo superior del tubo a 1, 2 y 5 minutos luego de haber empezado el ensayo y luego a intervalos de 5 minutos hasta que la diferencia entre 2 lecturas consecutivas sea despreciable o el número de lecturas permita determinar satisfactoriamente la permeabilidad, estas longitudes y tiempos pueden variar según la permeabilidad que presente el suelo (Tabla 1). Para los cálculos se utiliza la fórmula basada en el método del permeámetro de carga constante (Angelone et al., 2006), y para el presente estudio, estos resultados se correlacionan con el ensayo de granulometría efectuado a cada una de las muestras obtenidas y enumeradas en cada perforación, a partir de lo cual se generan los verdaderos resultados.

2. Resultados y Discusión

2.1 Cálculo de coeficiente de permeabilidad por ensayos de campo

Para hallar el valor del coeficiente de permeabilidad se utilizó la fórmula de caudal, de la cual se despeja el término k, como se muestra a continuación (Angelone et al., 2006):

$$K = \frac{VL}{HA\tau} \quad (1)$$

Dónde V es volumen promedio drenado, L la longitud de la muestra, H la altura promedio del inicio de la excavación al final de la columna del agua, A el área transversal de la muestra y t el Tiempo de ensayo. Nota: La fórmula anterior expresa las dimensiones de las áreas de drenaje de agua en el suelo para un apique que puede variar según el método de excavación utilizado.

Tabla 1. Ensayos de impermeabilidad.

Ensayo N°1		Ensayo N°2		Ensayo N°3		Ensayo N°4		Ensayo N°5	
Tiempo (min)	Variación altura de agua H (cm)	Tiempo (min)	Variación altura de agua H (cm)	Tiempo (min)	Variación altura de agua H (cm)	Tiempo (min)	Variación altura de agua H (cm)	Tiempo (min)	Variación altura de agua H (cm)
5	10	1	15	10	2	5	16	5	10
5	12	1	10	10	1.4	5	15	5	9
5	10	1	6	10	1.2	5	15	5	6
5	7	1	6	10	0.9	5	15	5	4
5	7	1	6	10	0.8	5	15	5	4
5	7	1	5	10	0.5	5	15	5	3
5	7	1	5	10	0.5	5	15	5	4
5	7	1	5	10	0.5	5	15	5	3
				10	5				

Para el presente estudio, el ensayo se realizó con un tubo de PVC, el cual proporcionaba un área igual para todos los ensayos, pero impidiendo la infiltración en las paredes del suelo, por tanto, el valor de L, no será aplicado en los cálculos del coeficiente de permeabilidad (Tabla 1 y Figura 3). El resultado de la aplicación de la fórmula con cada grupo de datos por ensayo, debe dar un valor que va desde 100 que sería un buen drenaje, hasta un valor de 10-9 que sería un coeficiente de permeabilidad nulo o totalmente impermeable (Tabla 2).

De acuerdo al resultado de la Figura 3 se observa que el comportamiento lineal de la gráfica refleja una menor capacidad de infiltración en el terreno.

2.1.1 Primer ensayo

Cálculos

- $A = \pi d^2 / 4 = 182,4146 \text{ cm}^2$
- $H = \sum_{i=1}^n H_i = 8,375 \text{ cm}$
- $V = AH_{prom} = 1527,722 \text{ cm}^3$
- $K = VL/HAt = 0,0033 \text{ cm/s}$

El valor se ubica en la tabla de valores del coeficiente de permeabilidad en distintos suelos (Tabla 2) (Casagrande y Fadum, 1940). T

2.1.2 Segundo ensayo

Cálculos

- $A = 182,4146 \text{ cm}^2$
- $H = 7,625 \text{ cm}$
- $V = 1390,911 \text{ cm}^3$
- $K = 0,0166 \text{ cm/s}$

2.1.3 Tercer ensayo

Cálculos

- $A = 182,4146 \text{ cm}^2$
- $H = 0,922 \text{ cm}$
- $V = 168,1862 \text{ cm}^3$
- $K = 0,00166 \text{ cm/s}$

2.1.4 Cuarto ensayo

Cálculos

- $A = 182,4146 \text{ cm}^2$
- $H = 15,125 \text{ cm}$
- $V = 2759,0208 \text{ cm}^3$
- $K = 0,00311 \text{ cm/s}$

2.1.5 Quinto ensayo

Cálculos

- $A = 182,4146 \text{ cm}^2$
- $H = 5,375 \text{ cm}$
- $V = 980,4784 \text{ cm}^3$
- $K = 0,0033 \text{ cm/s}$

Los datos de coeficiente de permeabilidad resultantes de cada ensayo, muestran como, en su gran mayoría, la permeabilidad de los suelos para esta zona de la Orinoquia colombiana es de POBRE a BUENA (Tabla 2); esto corresponde a la definición hecha por el Instituto Agustín Codazzi (IGAC, 1993), en la cual habla de depósitos arenosos, limosos, y arcillosos, con espesores variables, distribuidos indistintamente, según la posición del cauce del río en el tiempo y espacio durante los desbordes, esto es: sedimentos arenosos cerca de los cauces, y los sedimentos más finos distantes de los mismos, puesto que los puntos escogidos para perforación se ubican cerca de cauces de agua importantes, el material depositado se comporta de esta manera.

ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

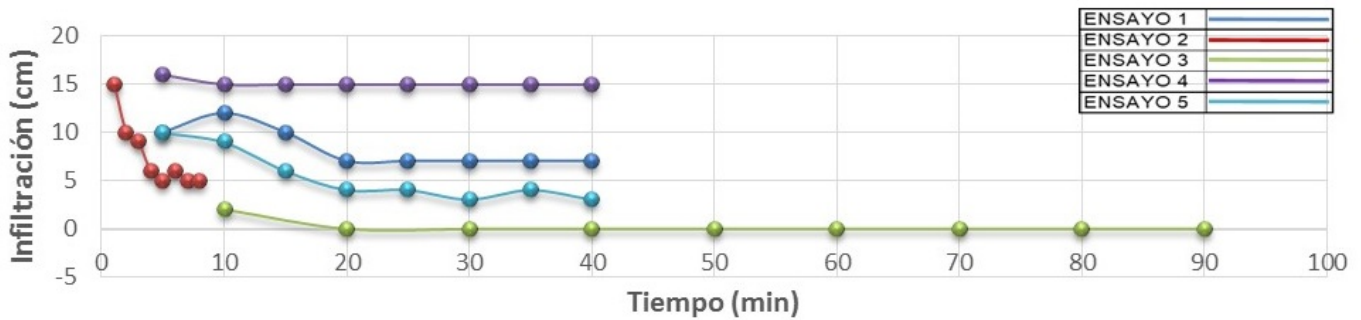


Figura 3. Resultados de los ensayos de infiltración a partir de la Tabla 1.

Tabla 2. Ubicación de los resultados de permeabilidad (K) en tabla de valores del coeficiente de permeabilidad en distintos suelos (Casagrande y Fadum, 1940).

	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹								
Drenaje	Bueno		↓		↓		↓		Pobre		Prácticamente impermeable									
Tipo de suelo	Grava limpia		Arenas limpias mezclas limpias de arena y grava		Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada		Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. ^d		Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición											
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.		Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.		<table border="1"> <tr><td>1 y 5</td><td>→</td></tr> <tr><td>2</td><td>→</td></tr> <tr><td>3</td><td>→</td></tr> <tr><td>4</td><td>→</td></tr> </table>				1 y 5	→	2	→	3	→	4	→
1 y 5	→																			
2	→																			
3	→																			
4	→																			
Determinación indirecta de k	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.		Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia																	

el cual pasan las partículas de cada muestra de suelo (Terzaghi y Peck, 1973). En la parte superior de la gráfica 4. se ubican los números de tamiz o malla por los que paso o intento pasar el material de las muestras, en la parte inferior se ubica el diámetro de cada celda de malla, dado en mm. En el costado derecho se ubica la columna de clasificación por porcentaje del material de la muestra retenido (Figura 4) (ASTM, 1998; INVE, 2007).

1. Muestra de Suelo Numero 1

Todo el tamaño de grano de la muestra es inferior á el tamiz #4, la mayor cantidad de material presenta tamaño de grano entre 0.85 y 0,425 mm, es decir una arena media, por tanto, al correlacionar el resultado del coeficiente de permeabilidad debe tener un valor de POBRE a BUENO.

2. Muestra de Suelo Numero 2

Todo el tamaño de grano de la muestra es inferior á el tamiz de 3/8", la mayor cantidad de material presenta tamaño de grano entre 2 y 0.85 mm, es decir una arena media a gruesa, por tanto, al correlacionar el resultado del coeficiente de permeabilidad debe tener un valor de POBRE a BUENO.

3. Muestra de Suelo Numero 3

Todo el tamaño de grano de la muestra es inferior á el tamiz de 3/8", la mayor cantidad de material presenta tamaño de grano entre 2 y 0.075 mm, es decir una arena fina, media y gruesa, por tanto, al correlacionar el resultado del coeficiente de permeabilidad debe tener un valor de BUENO.

4. Muestra de Suelo Numero 4

Todo el tamaño de grano de la muestra es inferior al tamiz de 3/8, la mayor cantidad de material presenta tamaño de grano entre 2 y 0.85mm, es decir una arena media a gruesa, por tanto, al correlacionar el resultado del coeficiente de permeabilidad debe tener un valor de BUENO.

5. Muestra de Suelo Numero 5

Todo el tamaño de grano de la muestra es inferior á el tamiz #4, la mayor cantidad de material presenta tamaño de grano entre 0.85 y 0,425 mm, es decir una arena media, por tanto, al correlacionar el resultado del coeficiente de permeabilidad debe tener un valor de POBRE a BUENO.

3. Discusión

3.1 Curvas granulométricas de muestras de suelo por ensayos de granulometría en laboratorio

La curva hace referencia a la cantidad de material retenido (en porcentaje), contra el número de tamiz o tamaño de orificio por

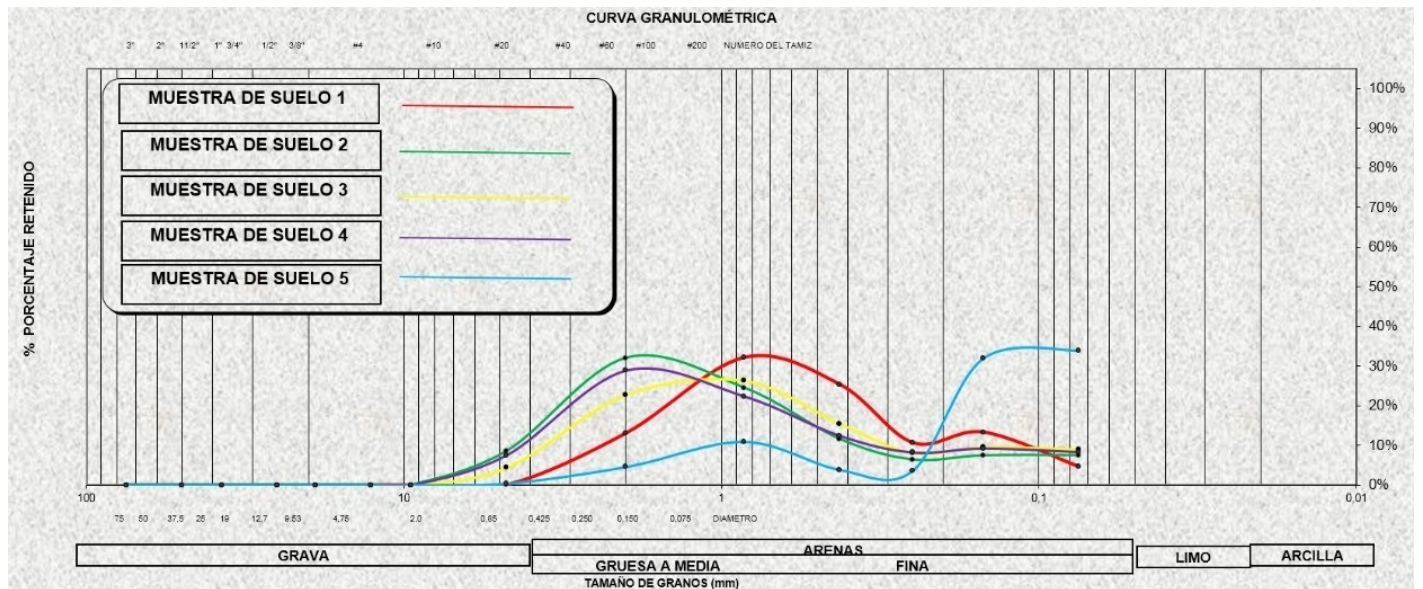


Figura 4. Curvas granulométricas de las 5 muestras de suelo.

4. Conclusión

Los valores de permeabilidad indican que los suelos de los diferentes puntos de las veredas Caño Chiquito y Centro Gaitán, tienen un coeficiente de permeabilidad cercano a 1, esto indica una buena permeabilidad. La buena permeabilidad en estos suelos esta evidenciada por su carácter arenoso lo que da como resultado vegetación y zonas de pasto densos. El resultado de los ensayos muestra material arenoso en la superficie que favorecería la recarga y concuerda con el intenso aprovechamiento del acuífero superficial libre representado por muchos pozos superficiales. Este tipo de permeabilidad representa una ventaja en cuanto a que mantiene la reserva del agua con menor pérdida que la superficial por evapotranspiración o escorrentía. La permeabilidad buena puede afectar el recurso hídrico en cuanto se encuentre con un cuerpo de contaminación como un horizonte de suelo férrico. En algunos sectores se encontraron horizontes de suelos férricos con profundidad variable, esto exige filtros o sistemas de remoción del hierro para todos los pozos de aprovechamiento del recurso hídrico. Los suelos depositados en esta parte de la sabana casanareña han presentado extremas sequías debido a que el agua de recarga se infiltra, esto se podría mitigar conociendo la extensión de los acuíferos libres y semiconfinados mediante estudios geológico-geofísicos que ayuden a la correcta ubicación de pozos profundos. La gran variación entre estaciones y el comportamiento del agua superficial exige un estudio de la red hídrica de la zona de estudio para el aprovechamiento del recurso. Igualmente requiere de estudios adicionales que determinen el origen de la recarga en los acuíferos superficiales. De acuerdo con los resultados, se confirma la segunda hipótesis de que los suelos son preferencialmente arenosos porque se depositaron cerca al curso de los ríos. Seguramente, la presencia de depósitos eólicos en esa parte del Casanare ayudaría a explicar la naturaleza principalmente arenosa de los suelos.

Agradecimientos

Se reconoce el apoyo de la UPTC (DIN) y de COLCIENCIAS a través del contrato 005 de 2016 (modelo hidrogeológico conceptual e isotópico de la sabana estacional de Paz de Ariporo, Casanare, Colombia).

Bibliografía

- Angelone, S., Garibay, M., Cauhape, M. (2006). Permeabilidad de Suelos. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- ASTM (1998). Norma de análisis granulométrico de suelos. D 422-C3. Washington D.C, USA.
- Casagrande, A., and Fadum, R.E. (1940). Notes on Soil Testing for Engineering Purposes. Harvard Soil Mechanics, Series No. 8, Cambridge, Mass.
- EIA (2005). Estudio de Impacto Ambiental Bloque Guachiria-Caño Chiquito. Solana Petroleum. Centro de información de Corporinoquia.
- IGAC (1999)-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Casanare Características Geográficas. Bogotá, Colombia.
- IGAC (1993)-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Suelos Departamento de Casanare. Santafé de Bogotá, Colombia.
- INGEOMINAS-UPTC (2007). Proyecto de investigación Hidrogeología preliminar en Sur-Oeste del departamento de Casanare, Convenio 015 de 2007.
- INVE (2007). Análisis granulométrico de suelos por tamizado. Normas Invias INVE 123-07. Bogotá.
- Sarmiento, G., Monasterio, M., Silva, J. (1971). Reconocimiento ecológico de los Llanos de Venezuela. En Acta Científica Venezolana 22:52-61.
- Terzaghi K., Peck R. (1973). Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica. 2 edición. Librería El Ateneo Editorial, Barcelona.