

Evaluación de color en suelos del Cerro de Denganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo

Julia María Domínguez Soto*, Alma Delia Román Gutiérrez*, Francisco Prieto García*, Otilio Acevedo Sandoval*

RESUMEN

Existen dos maneras de determinar el color del suelo: a) el uso de tablas de color utilizando el Sistema de Notación Munsell y b) el uso de analizadores de color, tal como el CieLab. Este último es capaz de medir el color y expresarlo en la notación de Munsell; ambas técnicas permiten la determinación del color del suelo. El objetivo de este estudio es evaluar el color de suelos húmedos y secos usando el sistema Munsell y el CieLab. Estos métodos se proponen para evaluar las diferencias de color en muestras de suelos de la localidad de Denganthza, en el municipio de Tepatepec de Francisco I. Madero, estado de Hidalgo, México durante el 2010. En el Sistema de Notación Munsell los suelos presentan coloraciones desde amarillo pálido a rojizas, para valores de <<hue>> se encuentra entre 2.5 Y, 5 Y, 2.5 YR, 7.5 YR y 10 YR mostrando coloraciones claras indicando un empobrecimiento de Fe y Mn, llevando a plantear que debido a causas pedogenéticas se ha producido un proceso de podzolización. En CieLab el color de los suelos estudiados se ubican en los cuadrantes +a* y +b* corresponden al color rojo y amarillo, el color de los suelos en húmedo corresponde a un color amarillo-rojizo, con mayor saturación en amarillo presentándose en los suelos 1, 6 y 13, en el resto se observa una tendencia hacia las tonalidades claras; sin embargo, en los suelos secos se presenta la misma coloración amarillo-rojizo sin saturaciones con tonalidades claras en todas las muestras.

ABSTRACT

Two ways exist to determine the color of the ground: a) The use of color tables using the System of Annotation Munsell and b) the use of color analyzers, as the CieLab. This last one is able to measure the color and to express it in the annotation of Munsell; both techniques allow the determination of the color of the ground. The objective of this study is to evaluate the humid ground color and droughts being used the Munsell system and the CieLab. These methods set out to evaluate the differences of color in ground samples of the locality of Denganthza, in the municipality of Tepatepec de Francisco I. Log, State of Noble, Mexico during the 2010. In the System of Munsell Annotation the grounds present/display colorations from pale yellow to reddish, for values is between 2.5Y, 5Y, 2.5YR, 7.5YR and 10YR showing clear colorations indicating an impoverishment of Fe and Mn, taking to raise that due to pedogenéticas causes a podzolización process has taken place. In CieLab the color of studied grounds is located in the quadrants +a* and +b* corresponds to the red color and yellow, the color of grounds in humid corresponds to a yellow-reddish color, with greater saturation in yellow appearing in grounds 1, 6 and 13, in the rest a tendency is observed towards the clear tonalities; nevertheless in grounds droughts the same yellow-reddish coloration without saturations with clear tonalities in all the samples appears.

Recibido: 27 de mayo de 2011
Aceptado: 20 de julio de 2011

INTRODUCCIÓN

Palabras clave:

Color; espectrofotometría; Munsell; CieLab.

Keywords:

Color; spectrophotometric; Munsell; CieLab.

El color del suelo es una de las características más obvias del suelo y una de las que probablemente ha sido más usadas para describirlo, así como para reconocer y describir los diferentes grupos genéticos, de hecho las primeras clasificaciones de los suelos, de hace cerca de 100 años, se basan principalmente en el color y en la vegetación. El color del suelo no tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, pero indirectamente

*Área Académica de Químicas. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo, km 4.5. C. P. 42076. Pachuca, Hidalgo, México. Teléfono: 7717172000 ext. 2514 y 2514. Correos electrónicos: julia_moon_star@yahoo.com.mx, aroman@uaeh.edu.mx, prietog@uaeh.edu.mx y acevedo@uaeh.edu.mx

afecta la temperatura y la humedad; a través de su efecto sobre la energía radiante, mientras mayor cantidad de energía calorífica esté disponible en el suelo, se causarán mayores grados de evaporación. El color es una de las cualidades más útiles para caracterizar y distinguir el suelo, su medición adecuada tiene importancia en muchos estudios edafológicos. La determinación rutinaria del color del suelo en campo es lograda generalmente de manera visual comparando una muestra del suelo con las cartas de color estándar de las cuales la "Carta de Color Munsell" (Munsell Color, 1990) son usadas a escala mundial y debido a factores físicos, químicos y ambientales los errores substanciales están implicados en este método visual y subjetivo. El color del material también se puede medir en el laboratorio usando espectrofotómetros de reflexión difusa. Los datos de la reflexión espectral dados por estos aparatos se convierten fácilmente a tres estímulos (valores tricromáticos) que definen el color percibido por el ojo humano.

La manera en que la luz interactúa con los suelos ha sido descrita por varios autores (Hunter, 1975; Judd y Wyszecki, 1975; Wyszecki y Stiles, 1982) mencionan que en muestras de suelos granulados o pulverizados la incidencia de un haz de luz en una pequeña fracción de la superficie del suelo es reflejada especularmente. Al penetrar el haz encuentra muchas superficies de partículas minerales y orgánicas, es aquí donde la luz experimenta la reflexión múltiple y la difracción (Hunter, 1975; Torrent y Barron, 1999). El color de esta luz resulta de la capacidad de los diversos componentes del suelo de absorber la luz en algunas longitudes de onda que otras. El color no solo depende de las características físicas, químicas y biológicas del suelo (Velazquez *et al.*, 2006), o de la estrecha relación que guarda con sus principales componentes sólidos (materia orgánica, textura, composición mineralógica, morfología) (Shulze *et al.*, 1993; Schwertmann, 1993, mencionado en Jaramillo 2002); se debe considerar la distribución espectral de la luz.

Basados en la importancia que tiene el color del suelo, cualquier error en su determinación acarrea conclusiones equivocadas respecto a las características que se relacionan con él; tomando como referencia los nuevos intentos de utilizar el color como un indicador que podría orientar de forma práctica la toma de decisiones sobre el uso, manejo y clasificación del suelo el objetivo de este trabajo es evaluar el color del suelo en condiciones húmedas y secas utilizando el

Sistema de Notación Munsell y el sistema color CIE-Lab y obtener información de los materiales que forman los suelos debido a que las características de la radiación reflejada por un material dependen de las propiedades del mismo, la absorción de la reflectancia de los suelos, puede proporcionar información de las propiedades y el estado del suelo de la región de estudio en Denganthza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio

En el área de estudio están expuestas unidades de rocas de composición ígnea y sedimentaria que evidencian un tiempo geológico que abarca desde el Cretácico hasta el periodo reciente, del Mesozoico afloran calizas puras, de origen marino con textura variable, lentes de pedernal, así como intercalaciones de dolomita y en algunos casos, de lutita, correspondientes de la Formación El Doctor. Esta unidad sedimentaria es característica de un facie lagunar, asociada a un complejo arrecifal de borde de plataforma que existió en tiempos cretácicos. El área está cubierta principalmente por rocas volcánicas epiclásticas, formando antiguos abanicos aluviales coalescentes, incluyendo depósitos laháricos en algunos sitios, estos depósitos son esencialmente de la Formación Tarango, del Plioceno Superior-Cuaternario. La presencia de rocas del Cuaternario, se limita única y exclusivamente a los sedimentos continentales de origen reciente (depósitos), que se distribuye en el centro del Valle del Mezquital, específicamente donde rompe la pendiente, al pie de las sierras. La geología local encontrada en el Cerro de Denganthza como se observa en la figura 1 está representada principalmente por dos unidades litológicas y una parte en donde se llevo a cabo un proceso de dolomitización. La litología se encuentra formada por materiales de diversos tamaños, que van desde bloques de varios centímetros de diámetro, hasta gravas, arenas y arcillas cementadas parcialmente con carbonato de calcio, adquiriendo una cierta compactación; el espesor estimado para estos materiales, depositados al pie del cerro se considera que varía entre uno y tres metros de espesor, no se encuentra exposición de rocas ígneas, sin embargo dentro del contexto geológico regional, este tipo de roca es el que predomina (SGM, 1995). Las condiciones agroclimáticas prevalentes son semiseco templado (BS1k) las cuales favorecen el desarrollo de poblaciones de matorral, bosque y mezquital.



Figura 1: Ubicación del Cerro de Denganthza en el municipio de Tepatepec de Francisco I. Madero

Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1.

INEGI. Información topográfica Digital Escala: 1:250 000 serie III.

Muestreo de suelos

La selección de los sitios de muestreo se realizó a partir de un estudio previo de fotointerpretación. Se utilizaron fotografías aéreas verticales, pancromáticas, blanco y negro, escala 1: 75 000 y 1: 30 000, y material cartográfico de apoyo (Van Zuidam, 1979). Esta fase se complementó con recorridos por la zona. Las muestras de suelo del sitio de estudio fueron las más representativas del estrato de 0 cm a 30 cm de profundidad de los suelos de colores identificados en forma visual. El número de muestras de suelo dependiendo del color fue entre 15 y 20, posteriormente para la homogenización y obtención de la muestra compuesta se empleo el método del cuarto descrito por Henríquez *et al.*, (1998). Una vez en el laboratorio, las muestras se secaron al medio ambiente y tamizado a través de una malla de 2 mm para la determinación de color. Las características morfológicas de los suelos se muestran en la tabla 1, indicando la altura, coordenadas geográficas, así como las características físicas y químicas de las muestras.

Tabla 1.

Descripción de los puntos de muestreo del Cerro de Denganthza

Muestra	Altura (msnm)	Coordenadas geográficas		Propiedades Físicas						Propiedades Químicas		
				Densidad (g/cm ³)		Porosidad	Textura			MO °	pH	CE § (dS/m)
				Real	Aparente		Arcilla	Arena	Limo			
		Latitud (N)	Longitud (W)	%								
1	2338	20° 17' 49.6"	99° 06' 54.8"	1.07	2.77	61.37	26	58 ^a	16	1.76	7.97 ^d	0.36
2	2302	20° 17' 49.6"	99° 06' 54.8"	1.23	2.00	38.50	22	54 ^a	24	1.54	7.82 ^d	0.31
3	2298	20° 17' 51.8"	99° 06' 56.4"	1.64	2.90	44.13	20	52 ^a	28	0.99	8.10 ^d	0.43
4	2287	20° 17' 54.8"	99° 06' 59.8"	1.02	2.30	65.55	10	72 ^b	18	0.77	8.20 ^d	0.09
5	2277	20° 17' 57.8"	99° 07' 01.01"	1.39	1.66	16.26	20	52 ^b	28	0.65	8.50 ^f	0.10
6	2273	20° 17' 58.5"	99° 07' 01.4"	1.05	1.66	36.74	6	66 ^b	28	0.88	7.80 ^d	0.27
7	2270	20° 17' 59.5"	99° 07' 02.1"	1.05	1.92	45.31	14	72 ^b	4	1.10	8.30 ^e	0.45
8	2320	20° 17' 50.5"	99° 06' 52.6"	0.99	1.16	14.65	8	58 ^b	34	1.21	8.08 ^e	0.20
9	2323	20° 17' 50.0"	99° 06' 52.5"	1.19	1.85	35.67	14	66 ^b	20	0.99	8.07 ^e	0.49
10	2312	20° 17' 50.5"	99° 06' 53.5"	1.27	1.66	23.49	8	60 ^b	32	0.88	7.92 ^d	0.27
11	2309	20° 17' 50.0"	99° 06' 53.4"	1.02	2.50	54.20	6	60 ^b	34	1.32	8.13 ^e	0.17
12	2297	20° 17' 51.7"	99° 06' 55.9"	0.95	2.00	52.50	8	54 ^b	38	1.43	8.42 ^e	0.19
13	2265	20° 20' 00.00"	99° 04' 00.00"	1.15	1.92	46.10	20	60 ^b	20	0.11	8.30 ^e	0.19
14	2260	20° 18' 04.7"	99° 07' 04.5"	1.34	2.00	35.00	4	66 ^b	30	1.10	8.46 ^e	0.14

Textura: ^a Franco arcillo arenoso, ^b Franco arenoso

Materia Orgánica (MO): ° Baja

pH: ^d Débilmente alcalino, ^e Moderadamente alcalino, ^f Fuertemente alcalino

Conductividad Eléctrica (CE): [§] No salino

Cualquiera que sea el sitio de muestreo, presentan aspecto de toba gruesa, no existen elementos finos, el endurecimiento es común a las muestras e independiente de la profundidad: parece ser debido a un cemento de naturaleza calcárea y silicea.

En las 14 muestras de suelo de las características físicas realizadas se reporta que la densidad aparente oscila entre $1.16 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$ y $2.90 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$, la densidad real alcanza valores de $0.95 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$ y $1.64 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$ las texturas que dominan son franco-arcillo-arenosa, con un volumen total de poros muy elevado ($> 60 \%$) y la franco-arenosa (entre 40% - 50% de porosidad total); ambos suelos casi siempre están bien aireados, contienen poros bastante grandes para permitir el drenaje del agua que penetra en ellos, característica que se traduce en una escasa capacidad de almacenamiento hídrico para las plantas.

Desde un punto de vista químico el pH es un parámetro importante en la disponibilidad de los distintos elementos nutritivos para el cultivo, en la actividad microbiana del suelo y en definitiva en el desarrollo de los cultivos, el pH de los suelos muestreados es alcalino, aunque moderado, indica una deficiencia por fijación de Fe, Mn, Zn, Cu, B y un exceso de Na; así mismo se podría presentar una mala nitrificación en las plantas y posiblemente una toxicidad por OH^- . En cuanto al contenido de materia orgánica son pobres (0.11% - 1.76%), lo cual coincide con los resultados obtenidos por densidad y textura ya que presentan una estructura pobre con baja estabilidad y contenido de agregados. La conductividad eléctrica presenta valores muy bajos siendo suelos no salinos y en sí no presentan ningún efecto sobre el rendimiento de los cultivos. El comportamiento de los rasgos morfológicos y las características de los suelos estudiados expresan una baja fertilidad y no son recomendables a usar en actividades agrícolas.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Sistema de Notación y Color Munsell

La determinación del color se llevo a cabo mediante la comparación de una muestra del suelo con las placas de color que componen cada unas de las cartas de hue (matiz) disponibles en las tablas Munsell; la comparación consistió en colocar la muestra en la ventana que se encuentra entre las placas coloreadas.

Para la descripción del color del suelo se utilizan dos parámetros: La notación y el color Munsell. La notación define los valores para los parámetros hue (matiz), value (valor) y chroma (croma) del color del suelo y el color Munsell asigna un nombre de color a una

determinada notación, con el fin de uniformizar la nomenclatura que se dé a los colores (Jaramillo, 2002). Al escribir la notación, el orden de las variables es:

Nombre del color + Hue (matiz) + Value (valor)
 + Chroma (croma)

Sistema CIELab

La medida de las coordenadas colorimétricas L^* , a^* y b^* del Sistema CIELab se genera con un colorímetro Hunter Lav MiniScan XE Plus, que mide el color por reflexión directa, efectuando varias lecturas y recogiendo su integración. El cálculo de Índice de Color se realiza con la expresión: $\text{IC} = (1\ 000 \times a^*) / (L^* \times b^*)$ y mediante la conversión de las coordenadas L^* , a^* y b^* se obtienen los valores de los atributos cromáticos del Ángulo Métrico de Tonalidad ($H^* = \arctan(b^* / a^*)$), Intensidad de Color o Índice de Cromaticidad ($C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$). Con ayuda del programa ColorEng.Inc, Apple[®] 1998, se realiza la transformación de las coordenadas cromáticas (L^* , a^* , b^*) a imágenes de color.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistema de Notación y Color Munsell

La "medida del color" implica la asignación de números que representen atributos del fenómeno psicológico de lo que llamamos color. Generalmente la medida del color no intenta describir directamente percepciones de color, en vez de ello, la medida del color intenta relacionar el fenómeno psicológico (color) con el fenómeno físico (flujo luminoso, longitud de onda, etc.) que provoca la percepción. Autores como Schulze y colaboradores (1993), y Schwertmann (1993), han mencionado que el color del suelo se relaciona fuertemente con los componentes sólidos del mismo, los suelos de Denganthza presentan coloraciones desde amarillo-pálido a rojizas (tabla 2) y según lo reportado por el sistema FAO (2007), se consideran suelos rojos aquellos que presentan color en un <<hue>> entre 5 YR y 10 YR, para el caso de las muestras analizadas el <<hue>> se encuentra entre 2.5 Y, 5 Y, 2.5 YR, 7.5 YR y 10 YR, tanto en seco como en húmedo, presentando coloraciones claras el cual indica con frecuencia un empobrecimiento de Fe y Mn. Esta coloración que presentan los suelos es indicativo de estados iniciales a intermedios de alteración del suelo bajo ambientes aerobios (oxidación), se relaciona con condiciones de niveles bajos a medios de materia orgánica y un rango muy variable de fertilidad corroborando la caracterización fisico-química realizada a los suelos; así mismo se pueden observar algunos suelos con coloraciones grisáceas (2.5 Y 6/2, 7.5 YR 5/1, 5 Y 3/2, 5 Y 7/2) lo cual indica la falta de intemperización de la roca

madre, depósitos de carbonato de calcio, afloración de sales, quedando gran cantidad de minerales ricos en sílice como cuarzo, feldespatos y caolinita. Las sustancias presentes en los suelos que les dan dicha coloración se debe a minerales que, en sí mismo, son poderosos agentes colorantes como son los distintos óxidos e hidróxidos de Fe y Al también conocidos con el nombre de sesquióxidos compuestos responsables, en gran parte, de los colores rojizos dominantes que, en sí mismo, son poderosos agentes colorantes, que se presentan en formas cristalinas y no cristalinas como lo son las distintas formas de hierro entre las que pertenecen la Gibsita: $Al(OH)_3$; Hematita: Fe_2O_3 ; Goethita: $(FeOOH)$, Ferrihidrita: $Fe_5O_8 \cdot 4H_2O$ y la Manganita: $(MnOOH)$, entre los más comunes citados por Besoain (1985); siendo la Goethita tal vez la principal sustancia colorante en los suelos cuyo color depende del grado de hidratación. La Goethita no hidratada imparte en el campo a los suelos colores rojos, pero en secciones delgadas por lo común tiene un tinte pardo-rojizo. Por otra parte, la Goethita hidratada por completo es de color amarillo-parduzco; estos colores que presentan los suelos nos lleva a plantear que debido a procesos pedogenéticos se ha producido un proceso de podzolización, que sería perfectamente factible en los suelos de estudio. La respuesta depende de la definición que se tome. En cualquier caso, las condiciones que presenten los suelos dependerán del tipo de material de partida, la composición mineral y las condiciones climáticas actuales o pasadas y el grado de desarrollo.

Tabla 2.
Color del suelo en húmedo y seco

Suelo	Húmedo	Seco
1	Pardo oscuro amarillo 10 YR 4/6	Amarillo 10YR7/6
2	Amarillo pálido 2.5 Y 7/3	Amarillo pálido 2.5Y8/2
3	Pardo olivo claro 2.5 Y 5/3	Gris pardo claro 2.5Y6/2
4	Pardo oscuro 7.5 YR 3/2	Gris 7.5YR5/1
5	Amarillo pálido 5 Y 8/4	Amarillo pálido 5Y8/3
6	Pardo rojizo oscuro 2.5 YR 5/3	Pardo rojizo oscuro 2.5YR3/4
7	Olivo oscuro grisáceo 5 Y 3/2	Olivo grisáceo 5Y4/2
8	Pardo fuerte 7.5 YR 2.5/3	Pardo oscuro 7.5YR3/2
9	Amarillo olivo 2.5 Y 6/8	Amarillo 2.5Y7/6
10	Amarillo pálido 5 Y 7/3	Olivo pálido 5Y6/3
11	Amarillo pálido 2.5 Y 8/3	Amarillo 2.5Y8/6
12	Gris claro 5 Y 7/2	Amarillo pálido 5Y7/3
13	Pardo amarillo claro 10 YR 6/4	Pardo amarillento 10YR5/8
14	Rojo pálido 2.5 YR 7/2	Rojo débil 2.5YR5/2

Sistema CIELab

El color del suelo puede caracterizarse en forma precisa mediante el uso de los espectrofotómetros. Estos equipos registran la cantidad de luz que refleja el suelo en todas las longitudes de onda del espectro visible (entre 400 nm y 700 nm). La transformación de los

valores de reflectancia del suelo a color se puede hacer mediante procesos matemáticos y/o computacionales (Torrent y Barrón, 1993).

Los resultados obtenidos para las muestras analizadas por CIELab tanto en seco como en húmedo se indican en la figura 2 donde se reportan los valores tricromáticos (L^* , a^* , b^*), los índices colorimétricos y la imagen de color de las mismas se trabajaron en el programa Color Eng. Inc, Applet©1998.

Las muestras se molieron y homogenizaron para su análisis observándose en dicho tratamiento un ligero cambio en su coloración donde el atributo más afectado es la luminosidad característica que coincide con lo reportado por Sánchez-Marañón y colaboradores (1995), y Matthias y colaboradores (2000), factor que se relaciona con el brillo de las muestras y su capacidad para reflejar la luz blanca. De los atributos cromáticos los valores de L^* definen la capacidad para reflejar la luz que varía del negro al blanco (0 a 100); en el presente estudio se observaron rangos de 28.44 a 71.59 en húmedo y en seco de 34.16 a 83.32 siendo el suelo 2 con la mayor luminosidad, en seco, y la más baja en el suelo 6, tanto en seco como en húmedo, indicando que el menos luminoso es el 2 y 6 refleja más la luz.

Los valores cromáticos se ubicaron en los cuadrantes $+a^*$ y $+b^*$, los suelos presentaron coloraciones rojas y amarillas, atributo que coincide con lo obtenido en las Tablas Munsell. Para las muestras en húmedo las coordenadas de cromaticidad a^* varían de 15.23 a 0.29 y en b^* de 38.15 a 5.76; en seco los valores están comprendidos entre 13.82 a 0.21 y de 32.53 a 4.15, para a^* y b^* respectivamente. En promedio las muestras en húmedo superaron en un 7.24 %, en a^* , y en b^* un 20.01 % a las muestras en seco, resultados que según con lo reportado por Evans (1948), Brooks (1952) y Kojima (1958) confirmaron experimental el descenso de reflectancia para un aumento de la humedad. Es evidente que la mayor parte de los suelos aparecen más oscuros cuando están húmedos que cuando están secos. Se atribuye el citado descenso a las reflexiones múltiples de la radiación en el interior de la fina película de agua que cubre las partículas, reflejándose sucesivamente en la superficie de la partícula y la superficie de la película, característica que se explica por el efecto de los componentes sólidos del suelo los cuales tienen propiedades refractivas muy diferentes de las del aire, por lo que la luz que cae sobre un suelo seco es casi totalmente reflejada. Las propiedades refractivas del agua y de las partículas del suelo son muy parecidas por lo que una mayor cantidad de luz penetra al suelo y menor intensidad es reflejada (Aguilar, 1988).

En cuanto a los valores obtenidos para el Ángulo Métrico de Tonalidad (H^*) presenta poca variación tanto en húmedo como en seco fluctuando entre 0.69 a 1.56 y 0.79 a 1.56, respectivamente. Los valores de Cromaticidad (C^*) muestran una evolución similar a la Tonalidad (H^*) en donde se observa un leve incremento en las muestras en seco para los suelos 13 (40.41), 9 (32.50) y 1 (32.01).

Por los resultados obtenidos el color de los suelos en húmedo corresponde a coloraciones amarillo-rojizas con mayor saturación en amarillo principalmente en los suelos 1, 6 y 13, en el resto de las muestras de suelo presentaron tonalidades claras; sin embargo en seco todos los suelos son amarillo-rojizo sin saturaciones con tonalidades claras.

Atributos	Suelo 1		Suelo 2	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
L*	42.36	48.60	71.59	83.32
a*	15.23	13.82	6.02	3.57
b*	28.15	29.08	19.25	14.02
IC*	12.77	9.78	4.37	3.06
H*	1.07	1.13	1.27	1.32
C*	32.01	32.20	20.17	14.47
Color				

Atributos	Suelo 3		Suelo 4	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
L*	51.95	61.89	34.09	49.66
a*	4.62	3.35	6.92	4.14
b*	17.23	14.37	5.76	4.15
IC*	5.16	3.77	35.24	20.09
H*	1.31	1.34	0.69	0.79
C*	17.84	14.76	9.00	5.86
Color				

Atributos	Suelo 5		Suelo 6	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
L*	70.89	77.29	28.44	34.16
a*	0.88	0.69	13.68	11.90
b*	22.05	14.00	13.61	12.03
IC*	0.56	0.64	35.34	28.96
H*	1.53	1.52	0.78	0.79
C*	22.07	14.02	19.30	16.92
Color				

Atributos	Suelo 7		Suelo 8	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
L*	28.51	38.57	28.63	35.6
a*	3.59	3.13	9.76	7.95
b*	10.67	10.07	12.27	10.35
IC*	11.80	8.06	27.78	21.58
H*	1.25	1.27	0.90	0.92
C*	11.26	10.55	15.68	13.05
Color				

Atributos	Suelo 9		Suelo 10	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
L*	58.27	65.78	57.80	67.51
a*	8.38	6.05	3.13	2.41
b*	31.40	25.60	22.63	18.93
IC*	4.58	3.59	2.39	1.89
H*	1.31	1.34	1.43	1.44
C*	32.50	26.31	22.85	19.08
Color				

Atributos	Suelo 11		Suelo 12	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
L*	67.45	78.82	62.66	68.98
a*	6.75	4.45	0.29	0.21
b*	28.93	22.42	19.19	14.39
IC*	3.46	2.52	0.24	0.21
H*	1.34	1.37	1.56	1.56
C*	29.71	22.86	19.19	14.39
Color				

Atributos	Suelo 13		Suelo 14	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
L*	53.52	59.24	53.06	72.38
a*	13.32	10.85	8.75	5.51
b*	38.15	32.53	10.84	8.46
IC*	6.52	5.63	15.21	9.00
H*	1.23	1.25	0.89	0.99
C*	40.41	34.29	13.93	10.10
Color				

Figura 2: Atributos cromáticos de las 14 muestras de suelos en húmedo y seco. Luminosidad L*: (negro = 0, blanco = 100). Coordenadas de cromaticidad: a* (rojo > 0, verde < 0), b* (amarillo b* > 0, azul b* < 0). Índice de color: IC* Cromaticidad: C*. Ángulo métrico de tonalidad: H*.

Correlaciones de parámetros cromáticos

Correlación L* vs IC*: El parámetro L* (luminosidad), muestra una correlación negativa con el IC con un ajuste de $R^2 = 0.3725$ en húmedo y $R^2 = 0.634$ en seco. En las figuras 3 y 4 se pueden observar las correlaciones de IC en ambas condiciones, indican que una disminución del índice cromático muestra un color más claro y un aumento del mismo parámetro a colores más oscuros en suelos. Aunque el ajuste es bajo en ambos casos el IC es un estimador confiable del color real o perceptible, es decir sin que el ojo sea influenciado por ningún otro factor externo, en los suelos.

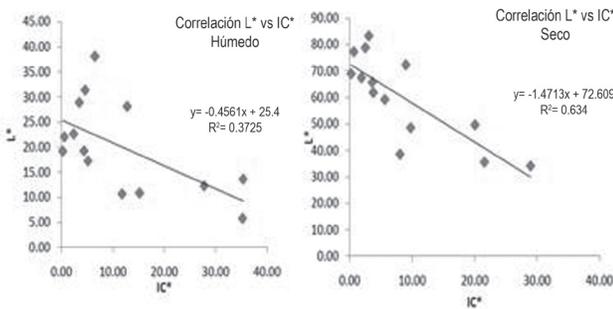


Figura 3 y 4: Correlación L* vs IC* en suelos húmedos y secos.

Correlación a* vs IC*: En las figuras 5 y 6 el parámetro a* muestra una correlación lineal positiva con el IC. Si bien el ajuste no es bueno para ambos casos ($R^2 = 0.2593$ en húmedo y $R^2 = 0.3208$ en seco), como tendencia, se puede concluir que valores bajos de IC presentan un componente pobre de color rojo.

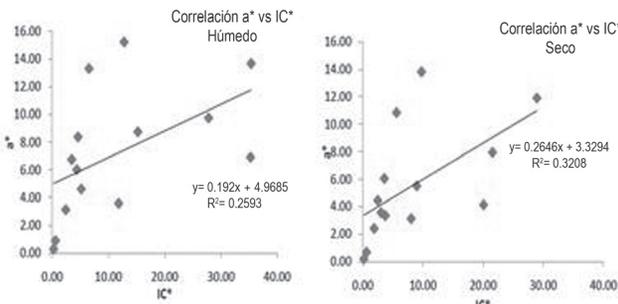


Figura 5 y 6: Correlación a* vs IC* en suelos húmedos y secos.

Correlación b* vs IC*: El parámetro b* en las figuras 7 y 8 muestra una función lineal negativa con un valor de R^2 bajo en húmedo ($R^2 = 0.3725$) y muy bajo en seco ($R^2 = 0.1627$). El valor de b* indica la participación, en el color de los suelos, de la gama cromática

que va desde el amarillo al azul, valores altos de este parámetro indica predominancia de tonos amarillos. Se observa en las figuras un despliegue de colores en el rango de los amarillos, indicando que b* es mayor que a*, lo que puede inducir a pensar que b* es un parámetro más importante que a*. Sin embargo, desde el punto de vista psicométrico de la tonalidad H*, ambos parámetros son esenciales.

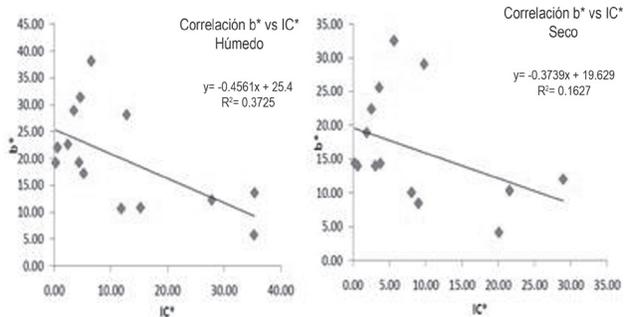


Figura 7 y 8: Correlación b* vs IC* en suelos húmedos y secos.

Correlación H* vs IC*: Las figuras 9 y 10 muestran una función lineal negativa con un muy buen ajuste tanto en húmedo ($R^2 = 0.8832$) como en seco ($R^2 = 0.8705$), indicando una buena relación entre ambos parámetros, es decir, las muestras de suelo al tener un valor alto de tonalidad H* y de luminosidad L* presentan colores más “claros”.

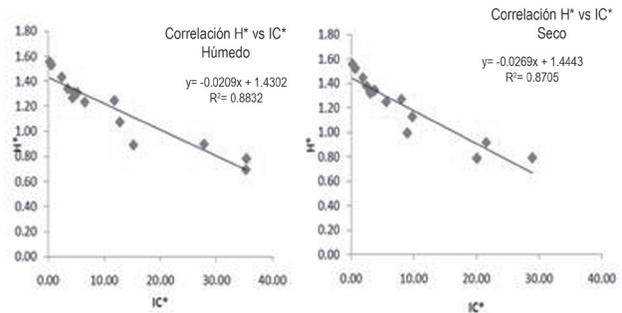


Figura 9 y 10: Correlación H* vs IC* en suelos húmedos y secos.

Correlación C* vs IC*: El parámetro C* (cromaticidad) muestra una correlación negativa con el IC* como se muestra en las figuras 11 y 12. Si bien el ajuste no es bueno tanto en húmedo ($R^2 = 0.2135$) como en seco ($R^2 = 0.014$), se puede deducir que suelos con valores mayores de C* presentan un mayor componente de colores amarillo y poco de rojos, es decir, resultan menos saturados a la vista; esto se explica debido a que

el parámetro C* se calcula a partir de los valores de a* (que incluye toda la gama de colores desde el rojo hasta el verde) y b* (que incluye toda la gama desde el amarillo al azul), relación que se observa en el parámetro b* el cual toma valores altos desde 10 hasta 40 en unidades CIELab.

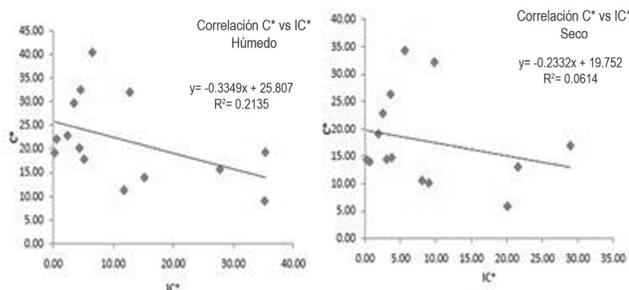


Figura 11 y 12: Correlación C* vs IC* en suelos húmedos y seco

CONCLUSIONES

La descripción del color mediante la terminología el Sistema de Notación Munsell es una herramienta útil y económica en la caracterización del perfil del terreno y la cartografía de los suelos, puesto que proporciona pruebas verificables de los procesos de formación del mismo además, es fácil de manipular para la evaluación de color del suelo tanto en campo como en el laboratorio.

Bajo condiciones de campo las mediciones del color del suelo son reproducibles por diferentes personas dentro de 2.5 unidades de matiz (hue) y una unidad de claridad (value) y pureza (chroma). La literatura reporta errores de hasta 9 % en la determinación del matiz y de hasta 45 % la determinación de claridad y pureza, sin embargo el color puede caracterizarse en forma precisa mediante el uso de los espectrofotómetros como fue el caso de CIELab para el objetivo de estudio. Ambas técnicas resultaron confiables al dar la clasificación y notación de color que presentaban las muestras del área de Denganthza, para fines pedogénéticos se recomienda la caracterización mineral de las muestras.

REFERENCIAS

Aguilar S.A. (1988). Métodos de análisis de suelos. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, México.

Bravo C., Lozano Z., Hernández R., Piñango L., Moreno B. (2004). Efectos de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro* 16(3) (p.163-174).

Brooks, F.A. (1952). Atmospheric radiation and its reflection from the ground. *J. Meteorol.* 9: (p 41-52).

CIE. (Commission Internationale de l'Éclairage). (1978). Recommendations on uniform color spaces, color difference and psychometric color terms. Suppl. No. 2 to Publ. CIE No. 15 (E-1.3.1), 1971, (TC-1.3) 1978. CIE Central Bureau. Paris, France.

Evans R.M. (1948). *An introduction to color*, (p.91-92). John Wiley & Sons, Inc., New York.

Henríquez C., Bertsch F y Salas R. (1998). La fertilidad de suelos: manual de laboratorio. *Asociación costarricense de la Ciencia del Suelo*. Costa Rica.

Hunter R.S. (1975). *The measurement of appearance*. John Wiley and Sons, New York.

FAO. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos* No. 103.

Gibbs R.J., Reid J.B. (1988). A conceptual model of changes in soil structure under different systems. *Advances in Soil Science* (8) (p.123-149).

INEGI. (2009). Prontuario de Información Geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Francisco I. Madero, Hidalgo. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. Clave estadística 13023.

Jaramillo J. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Medellín. Colombia.

Judd D.B., and G. Wyszeck. (1975). *Color in business, science and industry*. John Wiley and Sons, New York.

Kojima M. (1958). Relationship between size of soil particles and soil colors. (Abstract) *Soil and Plant Food* 3(4) (p204).

Leiva F.R. (1998). Sostenibilidad de sistemas agrícolas. *Agronomía Colombiana*. Vol, XV (2) (p181-193).

Matthias, A. D., A. Fimbres, E. E. Sano. D. F. Post, L. Accioly, A. K. Batchily, and L. G. Ferreira. (2000). Surface roughness effects on soil albedo. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (64) (p1035-1041).

Munsell Color. (1990). *Munsell soil color chart*. Baltimore.

Ohep C., Marcano F., Sivira O. (1998). Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata L. Walp*) en el Yaracuy medio. *Bioagro* 10(3) (p68-75).

Sa M.E., Costa D.S.A., Linos M.M., Ferreira F.M.P. (2001). Carbono orgánico extraído por soluciones salinas y su relación con otras formas de carbono de suelos tropicales. *Agrociencia* (35) (p397-406).

Sanchez-Marañón, M., G. Delgado, R. Delgado, M. Perez, and M. Melgos a. (1995). Spectroradiometric and visual color measurements of disturbed and undisturbed soil samples. *Soil Sci.* (160) (p291-303).

Schulze D.G. (1993). Significance of organic matter in determining soil colors. *Soil Color. Special publication* (31). *Soil Science Society of America*. (p71-90) Madison, WI. USA.

- Schwertmann U (1993). Relations between iron oxides, soil color and soil formation. In: *Soil color*. J. M.
- SGM. (1995). *Servicio Geológico Mexicano*. Carta Geológica Minera. Hoja Ixmiquilpan F14-C79, Hidalgo. Escala 1:50 000.
- Soil Survey Staff (SSS) (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2a. Ed. Agriculture Handbook N° 436. (p869) USDA. Washington D. C.
- Torrent V., and Barrón, V. (1993). Laboratory Measurement of Soil Color: Theory and Practice. Soil Color. Special publication 31. *Soil Sciencia Society of America*. (p21-33). Madison, WI. USA.
- Velázquez-García, Jaime de J.; Oleschko, Klaudia; Muñoz-Villalobos, J. Arcadio; Velásquez-Valle, Miguel A.; Girón-Ríos, Yolanda; Martínez-Menes, Mario; Figueroa-Sandoval, Benjamín. (2007). El color del Andosol como un indicador de su calidad física bajo el manejo (p1-8). *TERRA Latinoamericana*, Vol. 25(1), México.
- Wyszecki G., and W.S. Stiles. (1982). *Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae*. 2nd Ed. John Wiley and Sons, New York.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. *Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos* No. 103. FAO, Roma.