



Alumna: Karen Citlalli Xolalpa Morales
Matricula: 2162034248

Lugar y periodo de realización: Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco
Fecha de inicio: 3/3/2023
Fecha de conclusión: 3/9/2023

División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento De Producción Agrícola Y Animal
Licenciatura en Agronomía

Informe Final de Servicio Social
Actividades Relacionadas con la Profesión

Título: Carbono Orgánico en Sistemas Lama-bordo de la Mixteca Alta Oaxaqueña

Asesor Interno: Dra. Mariela Hada Fuentes Ponce
Número económico: 34017

Asesor Externo: Dr. Cristian Alejandro Reyna Ramírez
CONAHCYT: 13095632

Introducción

A nivel nacional los suelos de la región Mixteca Alta Oaxaqueña presentan una de las mayores degradaciones por erosión a nivel nacional (Santiago-Mejía, 2016); actividades humanas como el cambio de cubierta vegetal, la explotación sin medida de recursos forestales, la introducción de ganadería caprina, el sobre pastoreo de forma prolongada, agricultura convencional, además de fenómenos naturales climáticos como precipitaciones extremas han contribuido a la modificación del entorno natural y al avance de la erosión en la región (Santiago Mejía, 2016). Bocco Verdinielli & Napoletano (2017), citados en (López, 2019) mencionan como causa de degradación del ecosistema al abandono de zonas cultivadas por condiciones climáticas, socio-políticas y económicas. El paisaje de la región Mixteca es representado por montañas de más de 2 000 msnm, con vegetación de bosques, matorrales, pastizales y estepas, así también suelos cultivables delgados y en laderas de montañas que con la escorrentía por lluvia causa arrastre masivo de partículas de suelo y genera cárcavas dejando expuesto el material parental (Burbano, 2018).

En el 2017 en la región se reconoció un Geoparque a mundial por parte de la UNESCO “Geoparque Mixteca Alta (GMA)”, el cual se plantea como proyecto educativo, comunitario; enfocado en el geo-turismo y la geo-educación con el objetivo de mostrar el patrimonio natural, social e histórico de la región. Con una superficie total de 415 km² y comprende los municipios de San Andrés Sinaxtla, San Bartolo Soyaltepec, San Juan Teposcolula, San Juan Yucuita, San Pedro Topiltepec, Santa María Chachoápam, Santiago Tillo, Santo Domingo Tonaltepec y Santo Domingo Yanhuitlán (Geoparque Mixteca Alta, 2023).

Dentro del GMA uno de los elementos más interesantes a rescatar tanto geoelementos como comunitariamente son los lama-bordo, estos son sistema de terrazas que están contruidos de piedra y ramas acomodados de forma transversal a la dirección del flujo del agua (Pérez, 2006) (Figura 1). Estos tienen la ventaja de acumular el suelo que es arrastrado desde las cumbres por la escorrentía lo que da paso a nuevas áreas cultivables, además retienen la humedad que se aprovecha durante el ciclo de producción (Santiago, 2016). Entre otras funciones crean el hábitat adecuado para la microfauna del suelo e influyen en el proceso de los ciclos biogeoquímicos (FAO, 2017). Por otra parte, Lal et al., (1990); citado en (Martínez et al, 2008) mencionan que el suelo puede ser reservorio de carbono orgánico con uso y manejo adecuado; así mismo Lal, (2021) describe que los suelos altamente degradados y agotados tienen mayor potencial de capturar carbono y que los sedimentos arrastrados por escorrentía muestran mayor concentración de carbono orgánico que la superficie de donde fueron arrastrados.



Figura 1. Pretil del sistema Lama-bordo.

Justificación e importancia social

El cuidado de los sistemas lama-bordo es vital para los agroecosistemas Oaxaqueños y la región en la que estos se encuentran, pues con ello la erosión del suelo se reduce progresivamente, ayudando a que zonas que hoy son cárcavas comiencen a rescatarse y sean nuevamente cultivados con plantas adaptadas a las condiciones ambientales de la región. Determinar si estos sistemas tradicionales tienen la capacidad de brindar dichos servicios eco-sistémicos permitirá a las comunidades establecer nuevas estrategias en la producción de alimentos, además de considerar el pago de huella de carbono que ayudaría a la economía familiar y al mantenimiento de los lama-bordos.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la concentración de carbono orgánico de los sistemas lama-bordo en el Geoparque de la Mixteca Oaxaqueña.

Objetivos específicos

1. Analizar y procesar imágenes de dron en sistemas de información geográfica QGIS para estimar el volumen, área y altura del pretil de suelo de cada sistema lama-bordo

2. Analizar el carbono orgánico de 19 muestras de suelo de lama-bordo usando la técnica de Walkley y Black y su densidad aparente.

3. Calcular el carbono orgánico en los sistemas lama-bordo considerando la altura del pretil, densidad aparente y contenido de carbono.

Metodología y actividades que se realizarán

Zona de estudio

Este servicio social se realizó en el estado de Oaxaca, en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, fueron estudiados los municipios de Santo Domingo Tonaltepec, San Bartolo Soyaltepec, Santa María Chachoápam, Santo Domingo Yanhuitlán, Santiago Tillo y San Pedro Topiltepec; sitios donde se realizaron 16 vuelos con un dron DJI phantom 4 RTK (Figura 1). Previamente al estudio con las imágenes obtenidas de cada vuelo se construyó un ortomosaico RGB y un modelo de elevación digital DEM con una resolución de 15cm/píxel (Figura 2a). En cada área de vuelo se tomaron muestras compuestas de suelo de 0-20 cm, con el fin de cuantificar el contenido de C orgánico de los lama-bordos en el Laboratorio de Suelos y Aguas del Departamento de Producción Agrícola y Animal de la UAM-Xochimilco.

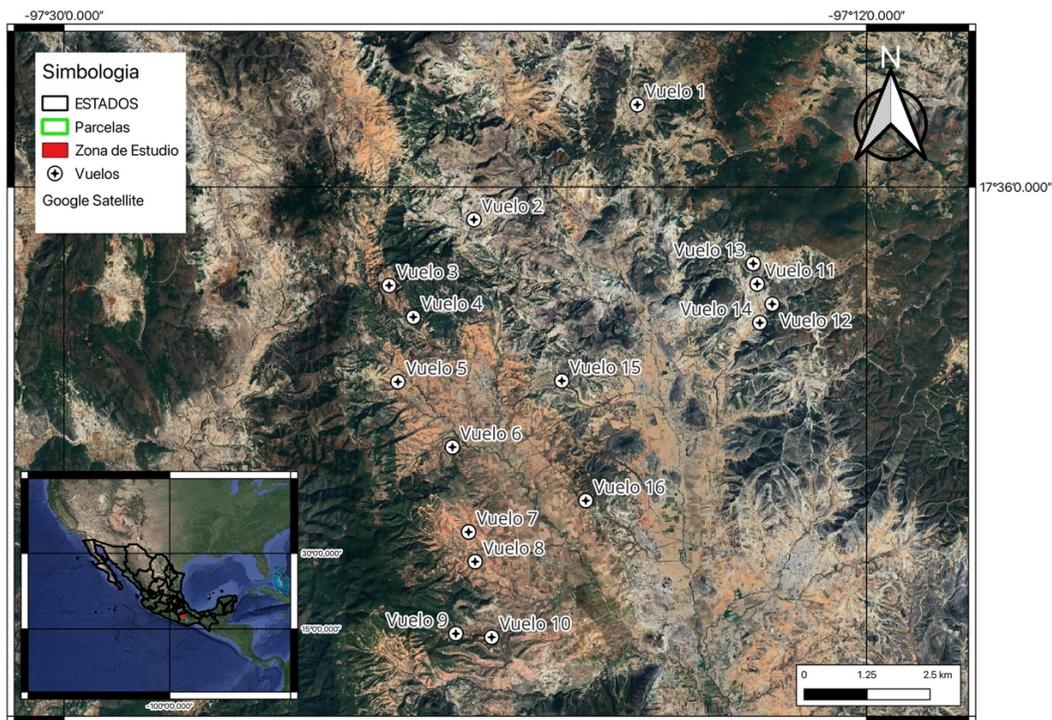


Figura 1. Área de estudio, zonas donde se realizaron los 16 vuelos.

i) Cálculo de volumen, área y altura del pretil en los sistemas de lama-bordos

Con los ortomosaicos de RGB y un modelo de elevación (DEM) de cada vuelo del dron. En el programa QGIS se procesó un ortomosaico RGB y una imagen DEM por cada vuelo; con el ortomosaico RGB se generaron polígonos de cada parcela de lama-bordo por vuelo,

lo que permitió calcular el área de cada lama-bordo y con el DEM se calculó la altura de pretil o profundidadl de cada lama-bordo (Ps), con base en la área y altura de las parcelas se calculo el volumen de cada lama-bordo, (Figura 2b y 2c). Para calcular la cantidad de suelo de los lama-bordos analizados; se ajustó con el valor de la densidad aparente (DA) (OSGeo. QGIS 3 32.2. 2023).

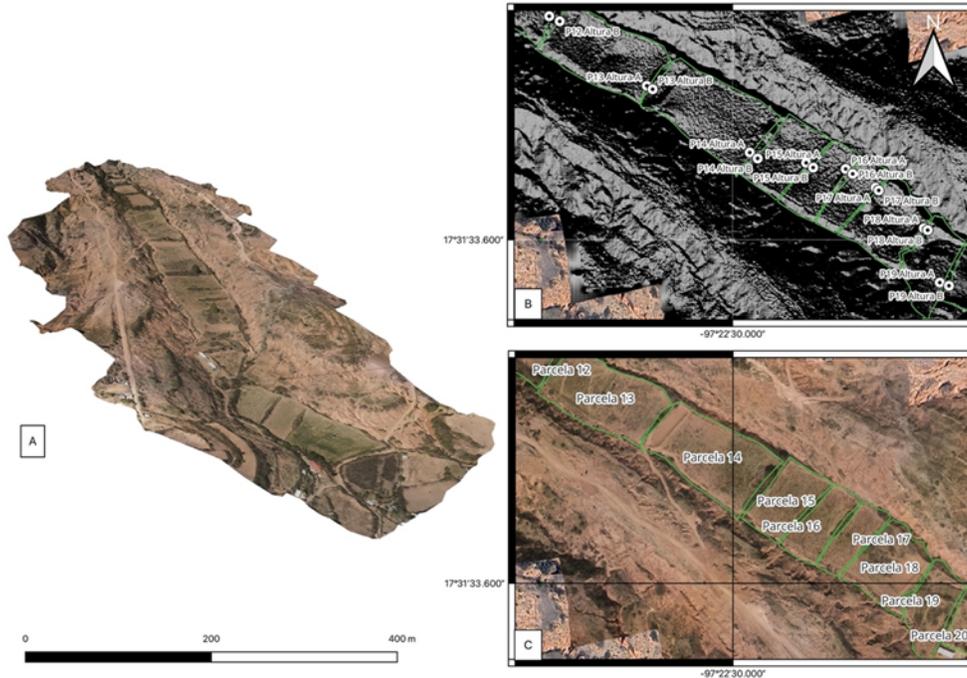


Figura 2. Vuelo 5 de Dron DJI Phantom 4 RTK, A) Zona de lama-bordo vuelo 5 mosaico tridimensional, B) Modelo digital de elevación (DEM) con los puntos que se usaron para el cálculo de pretil, C) Orthomosaico del Vuelo 5 procesado en QGIS para el cálculo de las áreas de cada lama-bordo.

ii) Determinación de C orgánico en suelo

Para la determinación de C se tamizó el suelo de las 19 muestras usando tamiz con malla de 0.59 mm de abertura. La determinación del carbono fue realizada siguiendo la técnica propuesta por Walkley y Black por combustión y colorimetría referida en Manual para Laboratorio de Suelos y Aguas de la UAM-Xochimilco. Del suelo tamizado se pesó 0.5 gramos por cada muestra y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, posteriormente se agregaron 10 ml de Dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) a concentración 1N, para homogeneizar la mezcla se agitaron las muestras y fue añadido 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y se agitó cuidadosamente durante 1 minuto, se dejaron reposar las muestras durante 20 minutos. Transcurrido el tiempo se añadieron 200 ml de agua destilada y luego se agregaron 10 ml de ácido fosfórico concentrado H_3PO_4 ; a continuación, se agregaron 20 a 25 gotas de indicador difenilamina después se procedió a titular con sulfato ferroso ($FeSO_4$) 0.5 N y registrar en bitácora el gasto de sulfato ferroso, por último, se realizaron los siguientes cálculos (Walkley y Black, 1934):

$$\%MO = 10 \left(1 - \frac{M}{B} \right) \times 1.34$$

Donde:

M= ml de $FeSO_4$ gastados en la muestra

B= ml de FeSO₄ ferroso gastados en el blanco

El factor 1.34 se deduce de la siguiente formula:

$$(1.0 \text{ N}) \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.72}{0.77} \times \frac{100}{0.5} = 1.34$$

Donde:

1.0= normalidad del K₂Cr₂O₇

12/4000 = peso miliequivalente del carbono

1.72= factor de transformación de carbón en MO

0.77= factor de recuperación de 77% hallado por Walkey

0.5 = peso de muestra

iii) Determinación de C orgánico en suelo del lama bordo

El contenido de C orgánico en cada lama-bordo se calculó con base en la fórmula de Monreal, et al., 2005:

$$\text{COS (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{CO} * \text{Da} * \text{Ps}$$

Donde:

CO= Carbono orgánico total (%),

Da= Densidad aparente (g cm⁻³);

Ps= Profundidad del suelo (cm)

Actividades desarrolladas y resultados

Características de lama-bordo.

Para caracterizar los lama-bordo se analizaron 211 lama-bordos, los cuales cubren un total de 110.59 ha, donde un promedio de 0.52 ha por lama-bordo, la altura promedio del pretil de los lama-bordos es de 251 cm, el volumen de los lama-bordos es en promedio 25 100 m³, la densidad aparente promedio en 1.02 g cm⁻³, el promedio de la cantidad de suelo que almacenan los lama-bordos es de 25 533.75 ton ha⁻¹, el promedio de C orgánico en los lama-bordos es de 1.47%, por lo que el de C orgánico en los lama-bordos es de 410.45 Mg ha⁻¹ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de los Lama-bordo de la mixteca Oaxaqueña.

Vuelo	Numero de Lama-bordos	Área del vuelo (ha)	Altura promedio del pretil (cm)	Volumen de lama bordo (m ³)	DA (g cm ⁻³)	Cantidad de suelo en lama-bordo (ton ha ⁻¹)	C orgánico (%)	COS. (Mg ha ⁻¹)
1	17	4.35	256	25600	1.05	26 880	2.29	615.55
2	19	3.06	281	28100	0.93	26 133	1	261.33
3	29	20.1	202	20200	0.82	16 564	1	165.64
4	5	1.45	387	38700	1.02	39 474	1	394.74
5	25	10.4	285	28500	1.17	33 345	3.9	1 300.45

6	10	6.6	335	33500	1.04	34 840	3.9	1 358.76
7	8	3.03	327	32700	1	32 700	0.5	163.5
8	7	4.55	164	16400	1.14	18 696	0.5	93.48
9	24	8.94	156	15600	1.1	17 160	0.5	85.8
10	7	4.97	250	25000	1.1	27 500	0.5	137.5
11	11	4.3	185	18500	0.92	17 020	1.8	306.36
12	11	14.38	122	12200	1.06	12 932	1.5	193.98
13	17	5.99	390	39000	0.91	35 490	1.8	638.82
14	7	5.39	368	36800	1.01	37 168	1.5	557.52
15	10	10.06	155	15500	1.01	15 655	0.9	140.89
16	4	3.02	153	15300	1.11	16 983	0.9	152.84
Total	211	110.59	251	25100	1.02	25 533.75	1.47	410.45

C orgánico en los lama-bordos.

La ventaja de los lama-bordos en el almacenamiento de C orgánico es su profundidad en comparación al resto de los suelos de ladera de la Mixteca, en la presente investigación el promedio de profundidad fue de 251 cm (Cuadro 1), esto quiere decir que tienen más capacidad de almacenaje, además el proceso de acumulación es de suelo de las partes superiores del perfil de la parte alta de la pendiente lo que hace que el contenido de C sea similar en todo el perfil, lo que no ocurre en un perfil de un suelo donde las cantidades de C se van reduciendo con la profundidad. El promedio de C retenido por los lama-bordos estudiados fue de 410.45 Mg ha⁻¹ (Cuadro 1), la diferencia en la retención de C dentro los diferentes lama-bordos estudiados se debió al relieve y tipo de suelo (Figura. 3). Los lama-bordos estudiados en los vuelos 5 y 6 fueron los que presentaron los mayores contenidos de C, debido a que están en la zona baja, los pretilos fueron aproximadamente de 300 cm, esto debido a la acumulación del suelo procedente de la zona de ladera agrícola y forestal, además el suelo es un Feozem con mayores proporciones de C que los Regosoles, Litosoles y Cambisoles del resto del territorio (Cuadro 1 y Figura. 3). Santiago-Mejía et al. (2018), mencionan que la cantidad de C también podría ser un indicador de la antigüedad del lama-bordo.

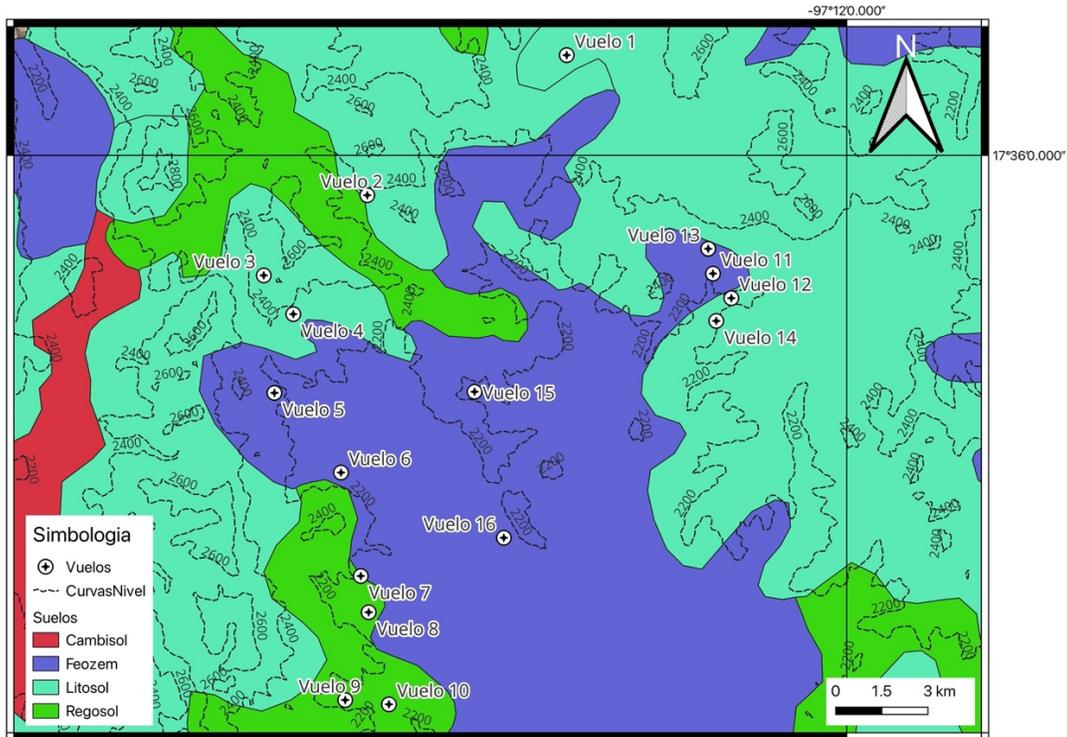


Figura 3. Altitud y tipos de suelos en los 16 vuelos realizados.

Los lama-bordos que presentaron menor almacenamiento de C fueron los de los vuelos 8, 9 y 10, los cuales se encuentran en la parte alta con el tipo de suelo regosol y con pretiles más pequeños (Cuadro 1 y Figura. 3). A pesar de que estos lama-bordos están en la parte alta, tienen mayores contenidos de C que los suelos agrícolas de la zona, los campesinos mencionan que los sistemas lama-bordo en la parte alta, tienen tres ventajas: el suelo es de mejor calidad, conservan la humedad y tienen rendimientos estables en el tiempo, similar a las parcelas de los valles (Orozco y Bocco, 2021). Los lama-bordos sistemas ideados, construidos y desarrollados en el antropoceno con un fin agrícola (Leigh et al., 2013), sin embargo el fenómeno de migración ha provocado el abandono de la agricultura, el uso y mantenimiento de los lama-bordos, el no uso de estos sistemas reduce su mantenimiento y por dicha razón varios pretiles se han ido destruyendo, y con ello se pierde el suelo acumulado, es imperante reconocer la importancia de los lama-bordos tanto desde el punto de vista cultural y socio-económico como agrosistema como proveedor de servicios ecosistémicos en este caso específico de almacenamiento de C.

Conclusiones

Los sistemas agrícolas tradicionales denominados “lama-bordos” en la Mixteca Alta de Oaxaca representan un agrosistema con potencial de captura de C, debido a su ubicación en el territorio, así como la posibilidad de almacenar el suelo erosionado de la parte alta de un pasaje accidentado. El mayor almacenamiento es en los lama-bordos de la parte baja del territorio del Geoparque debido a que son más antiguos, con pretiles más altos y el tipo de suelo Feozem que tiene mayor contenido de C.

Recomendaciones

Desarrollar estrategias específicas de conservación para áreas extensas de lama-bordos, considerar un programa que rescate los saberes tradicionales sobre la construcción y mantenimiento de los lama-bordos, desarrollar talleres de construcción de nuevas zonas de sistemas de lama-bordos.

Bibliografía

Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1): 82-96.

FAO. (2017). *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia. 1-15.

Geoparque Mixteca Alta UNESCO. 2023.

Lal, R. 2021. Soil management for carbon sequestration. *South African Journal of Plant and Soil*. doi/pdf/10.1080/02571862.2021.1891474

Leigh, D. S, Kowalewski S. A. and Holdridge G. 2013. 3400 years of agricultural engineering in Mesoamerica: lama-bordos of the Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Journal of Archaeological Science* 40: 4107-4111.

López Castañeda, N. (2019). *Lama-bordos en la Mixteca Alta: características de suelos, abandono y dinámica erosiva*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México.

Martínez H. E., Fuentes E. J. P., Acevedo H. E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. 8: 68-96.

Monreal, C. M., J. D. Etchevers, M. Acosta, C. Hidalgo, J. Padilla, R. M. López, L. Jiménez, and A. Velázquez. 2005. A method for measuring above- and below-ground C stocks in hillside landscapes. *Can. J. Soil Sci.* 85: 523-530.

Orozco R. Q., Bocco G. (2021). La diversidad de los paisajes en el Geoparque Mundial UNESCO Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Revista de Geografía Agrícola*. 66:10

OSGeo. (QGIS3.30.1-1). Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto. General Public License. Open Source Geospatial Foundation. <https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>.

Santiago-Mejía, B. E. (2016). *Evaluación de las obras de conservación de suelos en la Mixteca alta de Oaxaca*. Tesis. Colegio de Postgraduados. Edo de México.

Santiago-Mejía, B. E., M. R. Martínez-Menez, E. Rubio-Granados, H. Vaquera-Huerta y J. Sánchez-Escudero. 2018. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema lama-bordo en la mixteca alta de Oaxaca, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 15: 275-288.

Walkley, A y IA Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.

Anexos



Figura 1. Tamizado de muestras de suelo en laboratorio.



Figura 2. Pesaje en balanza gravimétrica de 0.5 gr de suelo de cada muestra y colocación del suelo en matraz Erlenmeyer rotulado por muestra.





Figura 4. Traslado de muestras a campana de extracción de flujo laminar para adición de ácido sulfúrico concentrado (izq.) previa adición de agua destilada y agregación de ácido fosfórico concentrado (der).

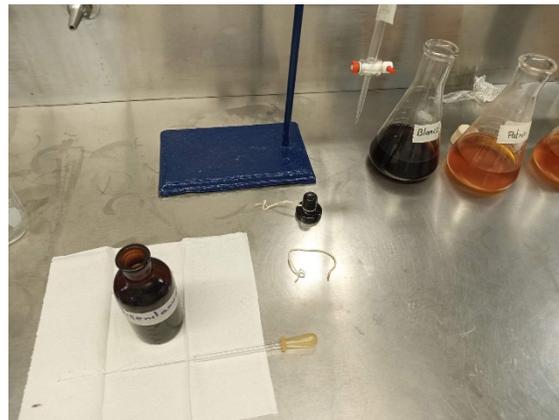


Figura 5. Adición de indicador difenilamina a cada muestra



Figura 6. Titulación de muestra patrón con sulfato ferroso (izq.) y titulación de muestras de lama-bordos (der)



Figura 7. Viraje de color por la oxidación de Materia Orgánica de las muestras: punto 10, 11, 12 y muestra patrón 2.