

Actualización de la cobertura de suelo mediante teledetección para la estimación del umbral de escorrentía en la Cuenca del Río Chimborazo



Update of the ground cover by remote sensing for the estimation of the runoff threshold in the Chimborazo River Basin

Carlos Rolando Rosero Erazo.¹, Andrés Agustín Beltrán Dávalos.², Luis Miguel Santillán Quiroga.³ & Gabriela Andrea Rosero Obando.⁴

Recibido: 11-03-2019 / Revisado: 16-04-2019 / Aceptado: 04-05-2019 / Publicado: 05-06-2019

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.517>

The permeability in the Chimborazo River Basin in the present investigation is based on the update of the land cover to 2017 by means of a satellite image LandSat 8 (sensor TM) and the method of classifications supervised by minimum distances using the algorithm of similarity "Endmember". From the geological point of view, the soils in the area are relatively young, especially those that are in adaptation processes, in addition some detonating agents that induce losses of resistance and the increase in rainfall constitutes factors that alter the balance of slopes. By means of a granulometric study and the methodological application of numerical curve, a value of 3 to 85 was estimated, values close to 100 represent impermeability conditions while values close to 0 show a low permeability. In the area, there was a greater Very Low permeability surface represented by 62% of the Hydrographic Basin and High Permeability Crops with 12% of the Hydrographic Basin.

Keywords: Infiltration, Number Curve, Land Use, Surface Runoff

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. carlos.rosero1733@gmail.com

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. abeltran@esPOCH.edu.ec

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. luis.santillanquiroya@esPOCH.edu.ec

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. garos_1702@esPOCH.edu.ec

Resumen.

La permeabilidad en la Cuenca del Río Chimborazo en la presente investigación se basa en la actualización de la cobertura de suelo al 2017 mediante una imagen satelital LandSat 8 (sensor TM) y el método de clasificaciones supervisadas por mínimas distancias mediante el algoritmo de similitud “Endmember”. Desde el punto de vista geológico los suelos en la zona son relativamente jóvenes en especial los que están en procesos de adaptación, adicionalmente algunos agentes detonantes que inducen pérdidas de resistencia y el aumento de lluvias constituye en factores que alteran el equilibrio de taludes. Mediante un estudio granulométrico y la aplicación metodológica de curva numérica se estimó un valor de 3 a 85, los valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad mientras que los valores cercanos a 0 manifiestan una permeabilidad baja. En la zona se encontró mayor superficie de permeabilidad Muy Baja representada con el 62% de la Cuenca Hidrográfica y Cultivos con Permeabilidad Alta con un 12% de la Cuenca Hidrográfica.

Palabras claves: Infiltración, Número de Curva, Uso de Suelo, Escorrentía Superficial.

Introducción.

La Microcuenca del Río Chimborazo está ubicada en la Subcuenca del Río Chambo (zona centro del Ecuador Continental) y al costado noroeste de la provincia de Chimborazo con una superficie de 124 kilómetros cuadrados. La Subcuenca del Río Chambo cuenta con una superficie de 3580 kilómetros cuadrados y cubre un 54,2% de la superficie total de la Provincia de Chimborazo. Por su parte la Microcuenca del Río Chimborazo nace en las faldas del volcán inactivo Chimborazo y contribuye con el flujo a otra unidad de drenaje que posteriormente desemboca al Río Principal Chambo. En la Microcuenca del Río Chimborazo se benefician 33 localidades del suministro hídrico dedicadas a la actividad agrícola. En la zona se encuentran ecosistemas tales como arbustales siempreverdes subnival de páramo, arbustal siempreverde herbazal de páramo, Herbazal de Páramo, Herbazal húmedo subnival de Páramo y Tierras Agropecuarias, de igual manera se forman pisos bioclimáticos como montano alto, montano alto superior, subnival y nival. Además, se encuentra el área protegida correspondiente a la Reserva de Producción Faunística Chimborazo la cual abarca la zona alta de la Microcuenca del Río Chimborazo. (Ministerio de Ambiente, 2012)

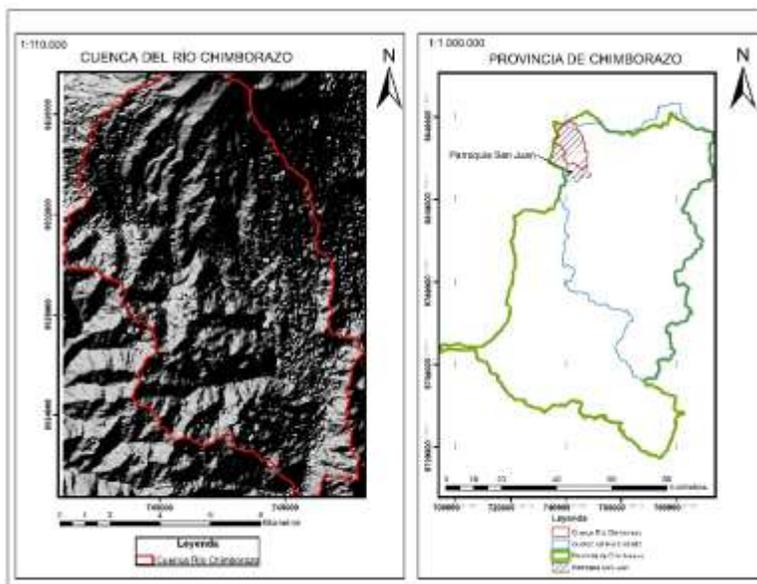


Figura 1. Ubicación de la Cuenca Hidrográfica Chimborazo

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2011) y (Secretaría Nacional del Agua, 2011).

Elaboración Propia

Metodología.

Identificación de la cobertura de suelo

En el cuadro 1 se identifican los puntos para el muestreo de la cobertura de suelo, estos puntos de muestreo se utilizaron de igual forma para las zonas de entrenamiento y así poder identificar la cobertura de suelo. Es necesario identificar las zonas de entrenamiento para establecer firmas espectrales y poder realizar un estudio granulométrico, esto facilita la identificación de la cobertura de suelo.

Cuadro 1. Ubicación de puntos de muestreo

CONGLOMERADO	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD m	COBERTURA
C1	9824221	743441	(0-30/30-60	Paramo
C2	9824317	742363	(0-30/30-60	Paramo
C3	9824344	741258	(0-30/30-60	Paramo
C4	9824889	742936	(0-30/30-60	Paramo
C5	9825244	741736	(0-30/30-60	Paramo
C6	9825749	742923	(0-30/30-60	Paramo

C7	9826295	741981	(0-30/30-60	Paramo
C1	9829814	743379	(0-30/30-60	Pastizales
C2	9831783	738746	(0-30/30-60	Pastizales
C1	9822413	746308	(0-30/30-60	Cultivos
C2	9822889	745588	(0-30/30-60	Cultivos
C3	9822900	744559	(0-30/30-60	Cultivos
C1	982816	743878	(0-30/30-60	Plantaciones
C1	9835233	739787	(0-30/30-60	Sin Cobertura

Elaborado por: Grupo de investigación

Ubicación de puntos de muestreo en suelo y firmas espectrales para la determinación y actualización de la cobertura de suelo. La división de Bosque de pino (1, 2) y pajonal (1,2) se realizó para obtener una mejor clasificación en lo que respecta a un estudio granulométrico.

Mediante el Uso de software ENVI 3.5 se procedió a realizar la corrección atmosférica de la imagen obtenida en la plataforma del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), después se identificó el método más adecuado para la clasificación supervisada y caracterizar la cobertura de suelo.

- Metadatos de Imagen LandSat 8
-

Tabla 2. Metadatos de la Imagen Satelital LandSat 8 TM

Sensor	OLI
Columnas	7601
Filas	7751
Bandas	7
Datum	WGS 84
Proyección	UTM Zone 17
Cobertura	32,44 %
Sun Azimuth	84,97°
Fecha	20/09/2017

Fuente: (Servicio geológico de los Estados Unidos, 2018b)

El sensor OLI es un instrumento construido por la empresa Ball Aerospace y Technologies Corporation en Boulder. OLI mide la superficie terrestre en el visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta, e infrarrojo térmico

- Metadatos del Modelo de Elevación Digital (ASTER)

Tabla 3. Metadatos de la Imagen sensor ASTER

Sensor	ASTER Global Digital Elevation Model V002
Filas	2452
Columnas	2699
Bandas	1
Resolución espacial	30
Datum	WGS 84
Proyección	UTM Zone 17 S
Fecha	20/09/2017

Fuente:(Servicio geológico de los Estados Unidos, 2018a))

El sensor ASTER. USGS Earth Resource Observation and Science (EROS) Center. Acceso a datos de Global Data Explorer (GDEx) es el resultado de la colaboración entre el Centro de Archivos Activos Distribuidos de Land Processes (LP) y el Centro de Ciencias y Sistemas de Información Espacial de la Universidad George Mason

Se utiliza una imagen satelital LandSat 8 (sensor OLI) para determinar los grupos hidrológicos a partir de la ubicación en campo de diferentes ecosistemas importantes. Se procedió a utilizar el método de Clasificaciones Supervisadas por Mínima Distancia con firmas espectrales. Por lo cual en el presente trabajo se ubican zonas de entrenamiento establecidos en campo para la toma de muestras de suelo y la comparación de firmas espectrales. En una primera fase se detecta 4 grupos hidrológicos (Agua, Residencia Media o Sin Cobertura Vegetal, Agrícola y Bosque). Mediante la aplicación de la ecuación 1 se procede a la corrección de una imagen satelital.

$$(1) \quad L_{sen,k} = n_{0,k} + m_{l,k}ND_K$$

Donde;

$L_{sen,k}$, corresponde a la radiancia espectral recibida por el sensor en la banda k.

$n_{0,k}$ y $m_{l,k}$ son los coeficientes de calibración para esa banda

ND_K corresponde al nivel digital de la imagen en la misma banda.

El método de mínima distancia nos permitirá medir esta distancia espectral entre píxeles y clases.

$$d_{ij}^{(k)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{N \text{ bands}} (X_{ij}^n - \bar{X}_{ij}^{(k)})^2}$$

(2)

Donde:

$K = 1, 2, 3, \dots, N$ clases

Siendo;

$X_{ij}^n (n = 1, 2, 3, \dots, N \text{ bandas})$

El valor de cada pixel en la banda n y $\bar{X}_{ij}^{(k)}$ el valor del “centroide” (media aritmética) de la clase k en la banda n . Los suíndices (i, j) corresponden al número de fila y número de columna en cada píxel de la imagen. Los patrones de respuesta espectral medidos en la imagen satelital por medio de las zonas de entrenamiento determinan el grado de energía reflejada en diferentes regiones del espectro electromagnético. Mediante el algoritmo de similitud de “Endmember” usado por el Spectral Angle Mapper (SAM) determina la similitud entre dos espectros mediante el cálculo del ángulo entre los mismos. De esta manera se realiza un análisis del comportamiento Espectral para cada Grupo Hidrológico usando la Firmas espectrales.

Determinación de escorrentía superficial

Análisis de pH y Conductividad

El pH es una de las determinaciones que se lleva a cabo con bastante frecuencia y una de las medidas más indicativas de las propiedades químicas del suelo. El valor de pH determinado indica la acidez y la basicidad del suelo. El pH del suelo representa la actividad del ion H^+ , es decir, la concentración de este en el suelo, entre más alta sea la concentración de H^+ menor será el pH y mayor la acidez. (Lizcano Toledo et al., 2017).

Los análisis de pH y conductividad fueron los primeros en ser realizados debido a que necesitan ser medidos en el menor tiempo posible desde que se toma la muestra. Los pasos se llevaron a cabo como sigue.

- Usando una balanza analítica se pesaron 20 g de la muestra de suelo en un recipiente plástico (vaso) y se agregaron 45 mL de agua destilada.

- Se agitaron constantemente durante 15 minutos y se mantuvieron en reposo durante otros 3 minutos.
- Con ayuda de un pH-metro de mesa accumet® Basic AB150 de marca Fisher Scientific se midieron los valores de pH para cada muestra y se registraron en la tabla de datos.

La conductividad eléctrica es una medida que permite determinar la concentración de sales solubles presente en el suelo; además, mide la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica. Las medidas utilizadas para medir la CE son dS/m, medida que es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm. (Lizcano Toledo et al., 2017)

En el caso de la conductividad se usaron las mismas muestras de suelo que fueron preparadas para medir el pH, pero se les mantuvo en reposo durante 24 horas previas a su lectura.

- Para medir la conductividad se usó un conductímetro marca JENWAY 4510 que se encuentra en el Laboratorio de Ingeniería de Reacciones y Control de Procesos de la ESPOCH y se registraron los valores de conductividad en μS .

Humedad y Densidad aparente

La humedad de la muestra representa el contenido de agua y aire presentes en el suelo, donde la humedad de la muestra es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente dentro de una masa de suelo. (Lizcano Toledo et al., 2017).

- Para el análisis de humedad y densidad aparente se usó el método del terrón. (Hirmas & Furquim, 2006) , con 3 repeticiones de cada muestra.
- En una balanza analítica Adventurer® marca OHAUS, se midió el peso del terrón húmedo y se registró en la tabla de datos como P₁.
- En una estufa de convección forzada marca ESCO se secaron los terrones durante 24 horas a 105 °C, y se registró el peso seco en la tabla de datos como P₂.
- Se realizó el cálculo del porcentaje de humedad usando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

La Da describe la compactación del suelo representando la relación entre sólidos y espacio poroso. La determinación de la Da se realiza por medio del método de cilindro o por medio de un terrón parafinado (Lizcano Toledo, et al., 2017, pp.36-60).

- Para el caso de la densidad aparente se procedió a calentar parafina con ayuda de un reverbero eléctrico de laboratorio marca HACEB.

- Se ató cada uno de los terrones con un hilo para sumergirlos en parafina líquida y se registró su peso como P_3 .
- Se midió el volumen desplazado por cada terrón con ayuda de una probeta y se registró en la tabla de datos.
- El cálculo de la D_a se realizó mediante la siguiente ecuación.

$$D_a = \frac{P_1}{\text{Volumen desplazado por } P_3}$$

Color

Este atributo permite inferir la naturaleza constitutiva del suelo o las condiciones químicas donde los constituyentes estuvieron sometidos, pues se correlaciona con la mayoría de características mineralógicas, físicas y químicas del suelo. (Lizcano Toledo et al., 2017)

- El análisis de color se realizó mediante observación, comparando las tonalidades de cada muestra con las tablas de Munsell Soil Color Book.
- Se usó una tabla de acuerdo a la tonalidad observada y se registraron los datos en el siguiente orden: Matriz (tinte), Fila, y Columna (1, 2 o 3).

Estructura

Los análisis de estructura se realizaron por el método del tacto, fueron seleccionados según la forma del grano, como se muestra a continuación.

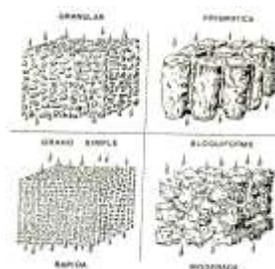


Figura 2. Estructuras del suelo

Fuente: (Fenton et al., 2009)

Secado y tamizado

- Las muestras fueron colocadas sobre papel de empaque y secadas a temperatura ambiente entre 24 y 48 horas, teniendo cuidado de que reciban radiación solar directa.

- Se tamizaron las muestras con un juego de tamices de poros de 2 mm, 425 μ m y 212 μ m para el análisis posterior de textura y materia orgánica.

Textura

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

Para conocer la textura de una muestra de suelo, se separó la tierra fina de las partículas mayores como la grava y las piedras. La tierra fina es una mezcla de arena, limo y arcilla.

A continuación, se enumeran las actividades realizadas en el laboratorio para el análisis de textura:

- Se eliminaron las partículas mayores de 2 mm, tales como la grava y las piedras.
- La parte restante de la muestra, la tierra fina, se tritura bien a fin de liberar todas las partículas separadas.
- Se midió con precisión el peso total de la tierra fina usando una balanza analítica Adventurer®.
- Se hizo pasar la tierra fina a través de una serie de tamices con mallas de diversos tamaños.
- Se calculó el peso del contenido de cada malla por separado y se expresaron como porcentaje del peso total inicial de la tierra fina.
- Se usó la pirámide de las clases texturales para establecer el tipo de textura de cada muestra a partir de los porcentajes obtenidos luego del tamizado.



Figura 3. Pirámide de Clases Texturales

Fuente: (Usda, 1999)

Materia Orgánica

La materia orgánica es uno de los factores más importantes del suelo, puesto que regula sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Además, tiene numerosas funciones y efectos benéficos en el suelo. Está compuesta por una amplia variedad de sustancias y su naturaleza específica está determinada por las plantas y los residuos animales que se descomponen en un sitio de forma continua (Lizcano Toledo et al., 2017).

El contenido de materia orgánica en el suelo según su porcentaje puede clasificarse como:

Cuadro 2. Porcentaje de Materia Orgánica en el suelo

% Materia Orgánica	Denominación
0 – 1	Muy bajo
1,1 - 2,9	Bajo
3 – 5,9	Medio
> 6	Alto

Fuente: (Amaguaya, 2015)

Para el caso de la materia orgánica del suelo se empleó el método de calcinación o pérdida por ignición (loss on ignition, LOI), que cuantifica directamente el contenido de MO y se basa en determinar la pérdida de peso de una muestra de suelo al someterla a elevadas temperaturas. (Eyherabide, Saíenz, Barbieri, & Echeverría, 2014).

- Se pesaron crisoles de 50 mL previamente tarados y se registraron los pesos en la tabla de datos como Peso 1.
- Se encendió la balanza analítica y se pesaron 5 g de la muestra de suelo tamizada en los crisoles, se registró el peso como Peso 2.
- Los crisoles con la muestra fueron llevados a la estufa por 24 h a 105 °C, se enfriaron en el desecador y se pesaron nuevamente, registrando en la tabla de datos como Peso 3.

- Los crisoles fueron llevados al horno mufla marca Thermo Scientific™ durante 2 horas a 360 °C y se repitió en proceso de desecador y pesado para obtener el Peso 4.
- El porcentaje de materia orgánica se obtuvo aplicando la siguiente ecuación:

$$\%MO = \frac{(Peso\ 3 - Peso\ 4)}{(Peso\ 3 - Peso\ 1)} * 100$$

Carbono Orgánico

El contenido de carbono orgánico de un suelo es un indicativo del porcentaje de su materia orgánica. La importancia de la determinación del carbono orgánico radica en que este brinda un indicativo del contenido de materia orgánica del suelo. Para su determinación se utiliza el método de combustión en seco, útil para propósitos de alta precisión debido a que se obtienen valores absolutos. (Lizcano Toledo et al., 2017).

- Del valor obtenido para la materia orgánica se usó el factor Van Bemmelen de (1,724) para calcular el porcentaje de carbono orgánico del suelo, el cual asume que el 58% de la MO está compuesta por C. (Eyherabide et al., 2014)
- Se empleó la ecuación siguiente para el cálculo:

$$\%CO = \frac{\%MO}{1,724}$$

- Para conocer el contenido de CO en el área de estudio se realizó una estimación calculando el COS (en miligramos por hectárea) en el área de muestreo según cada uso de suelo, para lo cual se empleó la siguiente ecuación:

$$CO = \frac{\%CO}{100} * Da * Prof * 1000$$

Escorrentía

Para determinar el umbral de escorrentía o número de curva, en cada zona de entrenamiento se realizaron muestreos aleatorios-estratificados a tres profundidades, para la determinación de la granulometría del suelo recolectado en las parcelas de cada grupo hidrológico, se aplicó el método mecánico, determinando cuantitativamente el tamaño de las partículas de la tierra fina, misma que atraviesa varios tamices con mallas de diferentes tamaños relacionando las partículas de arenas, arcillas y limo en el triángulo textural del Departamento de agricultura de los Estados Unidos. (Rebecca, 2004).

Para determinar la capacidad de escorrentía superficial e infiltración en la cuenca hidrográfica se tomó en cuenta el coeficiente de escorrentía que depende de muchos factores como, por ejemplo: Lluvia, la humedad del suelo, tipo de terreno (granulometría)

etc., por lo que el coeficiente de escorrentía toma valores comprendidos entre cero y uno o para este caso se tomó valores de 0 a 100.

Cuadro 3. Valores de Coeficientes de escorrentía

TIPO DE VEGETACIÓN	Pendiente	A	B	C	D
Cultivos en hileras y cultivos pobres	≥ 3	16	31	46	57
Cultivos en hileras y cultivos pobres	< 3	13	28	44	57
Praderas - pastizales	≥ 3	0	13	28	41
Praderas - pastizales	< 3	0	4	22	38
Plantaciones Forestales	≥ 3	0	7	23	32
Plantaciones Forestales	< 3	0	3	18	30
Rocas permeables / impermeables	≥ 3	85	85	85	85
Rocas permeables / impermeables	< 3	71	71	71	71

Fuente: (MOPU, 1987)

Tabla modificada de Coeficientes de escorrentía para pequeñas cuencas naturales en condiciones medias de humedad

Se usa el modelo de elevación Digital (DEM) para establecer pendientes detalladas en porcentaje de (≥ 3 Y < 3 %) para luego establecer los niveles de Número de Curva en la Microcuenca del Río Chimborazo.

Resultados.

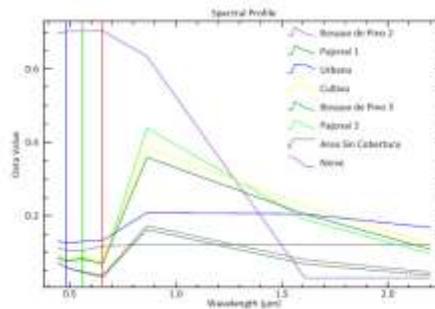
Identificación de la cobertura de Suelo

Actualización de la cobertura de suelo

Para la presente investigación se eligió la Clasificación Supervisada por Mínima Distancia (Firmas Espectrales) debido a que fue la mejor opción para la identificación de las zonas relacionadas con plantaciones forestales, los valores de radiancia comprendida por la Imagen LandSat 8 sensor OLI se determinó mediante la conversión en valores de reflectancia planetaria.

El criterio más sencillo es clasificar una categoría con el más cercano a él, este método se centra en la distancia espectral resultado de la comparación de los Número Digitales de cada pixel.

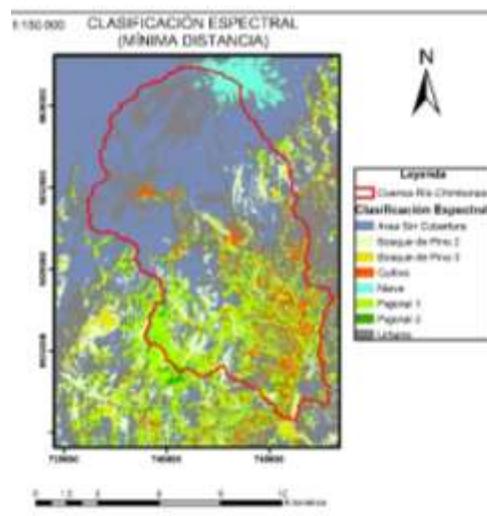
Figura 4 Resolución Espectral: Librería espectral (Reflectancia-Longitud de onda), dentro del espectro visible, Infrarrojo cercano, Infrarrojo lejano e infrarrojo termal. Esta resolución facilita la caracterización espectral de la cubierta: Nieve, Bosque, Cultivo, Zona Urbana y Pajonal



Elaboración propia

Se clasifica a partir de espectros de referencia expuestos (Figura 4) para cada zona de entrenamiento, el algoritmo determinó la similitud espectral mediante el cálculo del ángulo entre los espectros. El método aplicado es el “espectro de Endmember” utilizado por SPECTRAL ANGEL MAPPER (SAM) y usando el método de mínimas distancias.

Figura 5. Cobertura de suelo 2017 mediante Clasificación supervisada



Elaboración: Propia

Cuadro 4. Área obtenida por clasificación supervisada

Grupo	Área Km2 Mínima Distancia espectral
Agua o Nieve	7
Cultivos-Pastizal y Páramo	71
Áreas Sin Cobertura	199
Plantaciones Forestales	27

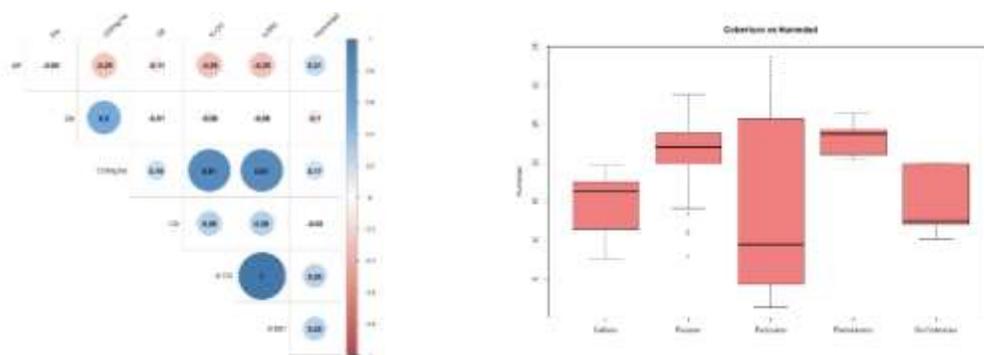
Elaboración propia

Se observa una mayor cantidad de área en la zona sin cobertura de suelo seguido de Agricultura-Pasto mientras que el bosque apenas alcanza los 27 kilómetros cuadrados, por último, se identifica la zona de agua representada por Nieve, este parámetro (Nieve) se elimina debido a que no se cuenta con datos granulométricos, debido a esto en la zona solo se identifica tres grupos hidrológicos (Agricultura-Pasto, Sin Cobertura y Bosque-Plantaciones forestales).

Pruebas Físico – Químicas

Para la presente investigación el primer paso fue tomar muestras estratificadas a partir de la identificación y actualización de la cobertura de suelo.

Figura 6. Correlación de Parámetros Físico-Químicos / Tukey para textura vs carbono y materia orgánica



Fuente: Propia

Nota: X.MO: Porcentaje de Materia Orgánica, X.CO: Porcentaje de Carbono, Da: Densidad Aparente, CE: Conductividad Eléctrica, COMg.ha: Miligramos de Carbono por Hectárea.

Se observa una correlación positiva y elevada entre el porcentaje de Carbono y el porcentaje de materia orgánica en la zona, de igual forma se logra establecer relaciones

entre la Densidad Aparente con los miligramos de carbono por hectárea. Esta correlación es debida a la dependencia que existe entre las variables antes mencionadas, siendo necesario el uso de la Da, MO y profundidad para la estimación del COS (mg/ha); del mismo modo se entiende la dependencia del porcentaje de CO hacia el porcentaje de MO, ya que se emplea un coeficiente entre ambos factores para estimar el porcentaje de CO.

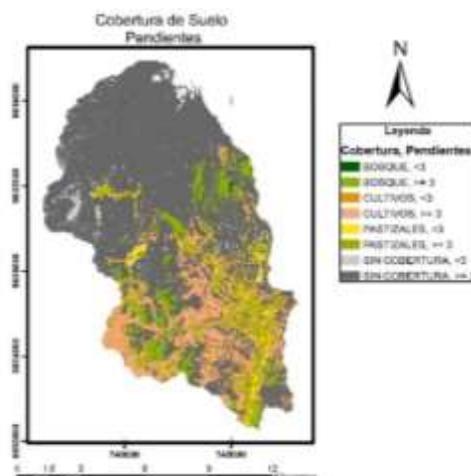
Para la presente investigación se realizó una reclasificación mediante la agrupación de cobertura de suelo tomando en cuenta las variables de mayor similitud como son las de Carbono, Materia Orgánica, pH y Densidad Aparente. La diferencia mas significativa en la zona es determinada por la Humedad, donde la cobertura de Páramo y Plantaciones Forestales se diferencia entre las demás coberturas.

Determinación del umbral de escorrentía

En función a la cobertura de suelo que predomina en la Microcuenca del Chimborazo y la obtención de variables Físico-Químicas donde se observa las similitudes y diferencias entre las variables de: pH, Conductividad eléctrica, Materia Orgánica, Carbono y Densidad Aparente se estableció los siguientes Grupos Hidrológicos: Agricultura – Pasto, Zonas sin Cobertura y Bosque.

A causa de una baja dispersión hallada en valores de reflectancia en zonas como poblados y zonas sin cobertura vegetal se decidió unificar estos tipos de suelo. A continuación (Figura 7), se observa la pendiente por cada cobertura identificada.

Figura 7. Identificación de Pendiente por grupos hidrológicos



Elaboración: Propia

En la figura 7 se observa las pendientes establecidas en un rango de ≥ 3 Y < 3 por ciento para cada uno de los grupos hidrológicos identificados mediante teledetección.

Conclusiones.

- En la cuenca hidrográfica Chimborazo se logró identificar 4 coberturas de suelo mediante teledetección al 2017 (Bosque o Plantaciones Forestales, Cultivos, Pastizales y una zona sin cobertura), las coberturas identificadas como plantaciones forestales no se detallan en información secundaria nacional para la cuenca del Río Chimborazo, por lo que se actualizó la cobertura al año 2017 mediante el uso de una imagen satelital LandSat 8 sensor TM y el método de clasificación supervisadas usando firmas espectrales mediante el algoritmo de similitud “Endmember”, ya que esta fue la más adecuada para la identificación de coberturas boscosas.
- Los resultados de laboratorio determinaron que el material Orgánico es similar para las zonas sin intervención, mientras que las zonas de pastizales y cultivos varían significativamente (menor contenido para el primer caso) y ocurre el mismo comportamiento con el porcentaje de Carbono; las medianas de la Densidad Aparente en las distintas coberturas están muy cercanas en el diagrama, con excepción de las muestras de cultivos en donde la Densidad Aparente se nota afectada por las maniobras agrícolas desarrolladas en el suelo (como el caso del arado); el pH en el suelo de páramo tiende a ser neutro y la acidez va en aumento en el orden, plantaciones, cultivos y pastizales, siendo esta última cobertura la que muestra un valor fuertemente ácido en el suelo; las muestras de suelo con mayor porcentaje de humedad pertenecieron a las plantaciones, seguidas por las muestras de páramo, cultivos y pastizales, sin embargo los pastizales muestran un rango amplio de valores que van del 5% al 25% de humedad y el bigote del límite superior sobrepasa el 30%. Existen valores atípicos bajo el límite inferior de porcentaje de humedad en la cobertura de páramo que corresponden a las muestras tomadas a 3800 metros de altitud, del mismo modo existe un valor atípico sobre el límite superior del porcentaje de carbono en la cobertura de pastizales debido a la baja densidad presente en las muestras tomadas sobre los 4000 metros de altitud, para el caso de la Da se observaron 2 valores atípicos en las muestras de páramo y cultivos que están sobre el límite superior, es decir su Da es mayor a 2 mg/mL. Es necesario en futuras investigaciones realizar una clasificación más a detalle de las zonas tanto para agricultura y páramo Andino, es decir identificar los diversos factores detonantes para localizar amenazas tanto como deslizamientos y avances de la frontera agrícola a ecosistemas importantes como el Páramo Andino que a futuro provocaría pérdidas económicas en zonas agrícolas y la disminución del suministro de agua en la zona.
- La metodología usada para condiciones medias de humedad y pendientes de $\geq 3\%$ y $<3\%$ tomando en cuenta una media de todo tipo de características hidrológicas se logró estimar el valor de permeabilidad de la cuenca hidrográfica, el cual se estima con un mayor porcentaje de permeabilidad Muy Baja en zonas Sin Cobertura de Suelo llegando al 67,29% de la Cuenca, mientras que en zonas de cultivo se obtuvo una permeabilidad Alta con el 14% de la cuenca, pastizales abarca un 11% de la cuenca con una permeabilidad Muy Alta y por último se obtuvo de igual forma una permeabilidad Muy Alta en la cobertura de Bosque la cual abarca el 7,45% de la Cuenca Hidrográfica.

Referencias bibliográficas.

Amaguaya, J. (2015). *Determinación de Carbono en el Suelo de Bosque nativo de ceja andina en el sector Guangra, Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>

Argañaraz, J. P., & Entraigas, I. (2011). Análisis comparativo entre las máquinas de vectores soporte y el clasificador de máxima probabilidad para la discriminación de cubiertas de suelo. *Revista de Teledetección*.

Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>

Eyherabide, M., Saínez, H., Barbieri, P., & Echeverría, H. E. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo / COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINING SOIL ORGANIC CARBON. *Ciencia Del Suelo VO - 32*, 32(1), 13. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S1850.20672014000100002&lang=es&site=eds-live>

Fenton, O., Vero, S., Ibrahim, T. G., Murphy, P. N. C., Sherriff, S. C., Ó hUallacháin, D., ... INTA EEA San Juan Ing Agr Nicolás Ciancaglini-Prosap, I. (2009). R-001-Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. *Journal of Toxicology*, 2009(5), 14. <https://doi.org/10.1155/2009/308985>

García, P. (2004). Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica. *Developments in Petroleum Science*. <https://doi.org/10.1108/S2043-052320150000007021>

Higgitt, D. L., & Warburton, J. (1999). Applications of differential GPS in upland fluvial geomorphology. *Geomorphology*. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00010-0)

Hirmas, D. R., & Furquim, S. A. C. (2006). Simple modification of the clod method for determining bulk density of very gravelly soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37(7-8), 899-906. <https://doi.org/10.1080/00103620600588579>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2011). *Datos Abiertos: Cartografía Temática*. Quito-Ecuador. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec//cartografia-tematica/>

Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. *Geographical Review* (DOVER PUBL, Vol. 35). New York: Dover Publications. <https://doi.org/10.2307/211491>

Lizcano Toledo, R., Oliviera Vicedo, D., Saveedra Mora, D., Machado Cuellar, L., Valencia, E., Moreno Pérez, M., & Flórez, M. (2017). *Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos*.

Martinez de Azagra, A., & Navarro Hevia, J. (1996). *Hidrología Forestal. El Ciclo Hidrológico*. Valladolid: Universidad de Valladolid. Retrieved from https://www.imosver.com/es/libro/hidrologia-forestal-el-ciclo-hidrologico-_ATE0009402

Ministerio de Ambiente. (2012). Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. *Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito*, 143. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Molina, D. (2011). *Inventario de la flora y determinación del índice de contaminación de la Microcuenca del Río Chimborazo en la comunidad Calera Grande y Shobolpamba, Parroquia San Juan, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo*. Infopl.net. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Retrieved from http://www.infopl.net/files/descargas/schneider/infopl_net_18t00436.pdf

MOPU. (1987). Cálculo hidrometeorológico de Caudales Máximos en Pequeñas Cuencas Naturales, 96. Retrieved from https://www.fomento.es/recursos_mfom/0610400.pdf

Rebecca, B. (2004). Soil survey laboratory methods manual. *Soil Survey Laboratory Investigations Report*, (42). Retrieved from http://scholar.google.com/scholar?q=%22Soil+survey+laboratory+methods+manual%22&btnG=&hl=en&as_sdt=0%2C33#1

Secretaría Nacional del Agua. (2011). *Servicios de Descargas de Geoinformación*. Quito-Ecuador. Retrieved from <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/>

Servicio geológico de los Estados Unidos. (2018a). *Centro de archivo distribuido de procesos terrestres EODIS*. South Dakota. Retrieved from https://gdex.cr.usgs.gov/geoportal_data_cache/20181219130158_124818865.tif

Servicio geológico de los Estados Unidos. (2018b). *LandSat Program*. South Dakota. Retrieved from https://earthexplorer.usgs.gov/LC8_L1TP_010061_20170920_20171012_01_T1

Slaymaker, O., & Spencer, T. (1998). *Physical Geography and Global Environmental Change*. (Addison Wesley Longman, Ed.) (ilustrada,). Retrieved from https://books.google.com.ec/books/about/Physical_Geography_and_Global_Environmen.html?id=77kPAQAIAAJ&redir_esc=y

Soil Conservation Service. (1972). *National engineering handbook. Section 4*. Washington, DC, USA: Department of Agriculture. Retrieved from

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=7798852&pid=S0187-5779201000010000800013&lng=es

Usda. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. *USDA, Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos*, 88

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Rosero Erazo, C., Beltrán Dávalos, A., Santillán Quiroga, L., & Rosero Obando, G. (2019). Actualización de la cobertura de suelo mediante teledetección para la estimación del umbral de escorrentía en la Cuenca del Río Chimborazo. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 39-59. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.517>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

