

Comparación de la calidad biológica de los suelos del monteverde de Las Mercedes y del pinar de Las Raíces

**Comparison of the biological quality of the soils of the
“monteverde” of Las Mercedes and the pine forest of Las
Raíces.**



Trabajo de Fin de Grado

Jaime Hernández Pérez

Tutores: Dr. Antonio Rodríguez Rodríguez y Dra. Carmen D. Arbelo Rodríguez.

Grado de Biología. Septiembre 2018

Índice

1	RESUMEN	3
	<i>Abstract</i>	3
2	INTRODUCCIÓN	5
2.1	Calidad del suelo: Indicadores de calidad	6
2.3	Suelos de laurisilva y pinar	8
3	OBJETIVOS	9
4	MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1	Selección de las zonas de estudio	10
4.2	Breve descripción morfológica de los perfiles	11
4.3	Métodos analíticos	15
4.3.1	Respiración del suelo en el campo	15
4.3.2	Formas de carbono analizados	17
4.3.3	Actividad deshidrogenasa	19
4.3.4	Actividad CM-Celulosa	18
4.3.5	Densidad aparente	19
4.3.6	Humedad	19
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
5.1	Densidad aparente y humedad	
5.2	Respiración de suelo en el campo	19
5.3	Formas de carbono analizadas	21
5.3.1	Carbono oxidable	21
5.3.2	Carbono soluble	22
5.4	Actividad CM-celulasa	24
5.5	Actividad Deshidrogenas	25
5.6	Índice de calidad biológica (I.C.B.)	26
6	CONCLUSIONES	27
	Conclusions	27
7	BIBLIOGRAFÍA	29
8	ANEXO	31

1. RESUMEN

Este trabajo se realizó con el objetivo de comparar la calidad biológica de los suelos del monteverde de Anaga y del pinar de La Esperanza, basándonos en un índice diseñado por Armas, C.M. et al. (2007). Al mismo tiempo se hará una comparación sencilla de diferentes parámetros biológicos en ambos tipos de suelos, que contribuya aún más a evaluar la calidad biológica en ambos tipos de suelos.

Para ello, se realizó el estudio en los meses de primavera de 2017 y se recogieron dos muestras representativas de los primeros 15 cm de profundidad en las localizaciones elegidas. También se pusieron 5 trampas de CO₂ sobre estas mismas localizaciones repartidas con una separación de unos 2 metros para su posterior cuantificación.

Los parámetros que se seleccionaron para calcular este Índice de la Calidad Biológica (I.C.B) y realizar la comparación son: el carbono oxidable total, el carbono soluble en agua, la actividad de las enzimas deshidrogenasa y CM-celulasa y la respiración del suelo (calculada en el campo).

Una vez obtenidos, se compararon ambos suelos representativos de laurisilva y pinar, concluyendo que el de laurisilva tiene un mayor Índice de Calidad Biológica, lo que significa una superior relevancia de las funciones biológicas en este ecosistema.

Abstract

This work was carried out with the objective of comparing the biological quality of the soils of the Monteverde of Anaga and the pine forest of La Esperanza, based on an index designed by Armas, C.M. et al. (2007). At the same time, a simple comparison of different biological parameters in both soil types will be made, which will contribute even more to evaluating the biological quality in both soil types.

To do this, the study was focused on two representative samples of the first 15 cm of depth in the chosen locations. Five CO₂ traps were also placed on these same locations distributed with a separation of about 2 meters for further quantification.

The parameters that were selected to calculate this Biological Quality Index (BQI) and perform the comparison are: the total oxidizable carbon, the water soluble carbon, the activity of the enzymes dehydrogenase and CM-cellulase and the respiration of the soil (calculated in the countryside).

Once obtained, both representative soils of laurisilva and pine were compared, concluding that the one of laurisilva has a higher Biological Quality Index, which means a higher relevance of the biological functions in this ecosystem.

2. INTRODUCCIÓN

El suelo no es susceptible de una definición única, sino que depende de los usuarios del mismo o del punto de vista del que se trate. Si lo consideramos desde el punto de vista de los factores que intervienen en su formación, podemos decir que el suelo es una formación biogeosférica que se manifiesta como el resultado de la acción combinada de cuatro factores ambientales a lo largo del tiempo: el clima, los organismos (plantas superiores, seres microscópicos y actividades humanas), la topografía y el relieve y la composición y edad de los materiales geológicos.

Si lo consideramos desde el aspecto de sus componentes, podemos decir que el suelo es un sistema compuesto por fases sólidas, minerales y orgánicas (vivas y muertas), fases gaseosas (aire del suelo) y fases líquidas (agua del suelo y solución edáfica). También podemos considerarlo como un sistema multifuncional, es decir que tiene muchos usos productivos (agropecuaria, fuente de materias primas, soporte de infraestructuras, etc) y realiza numerosas funciones ambientales (producción de biomasa, reserva genética, reciclado de nutrientes, regulación de los flujos hidrológicos, capacidad de depuración y tamponamiento, etc.).

En definitiva, podemos decir que el suelo es un componente básico y funcional de todos los ecosistemas terrestres y que la evaluación de su calidad, dada su multifuncionalidad y su carácter multifásico y multiestructural, no es tarea fácil. Por ello el concepto de calidad del suelo ha de tener en cuenta sin duda este carácter “multi” del suelo y sobre todo su funcionalidad: Calidad ¿para qué? Una de las valoraciones que recientemente ha adquirido cierto auge es la evaluación de la calidad para la realización de funciones biológicas, relacionadas con la descomposición de la materia orgánica y la liberación de CO₂ y nutrientes. Esto es la “calidad biológica del suelo”.

2.1. Calidad del suelo: Indicadores de calidad.

La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (SSSA), definió el término como “la capacidad de un suelo de realizar sus funciones” (Doran, J.W. y Parkin, T.B., 1994). Más adelante, esta definición se amplía presentando esta como “la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de un ecosistema natural o artificial, para

conservar la productividad de las plantas y los animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y beneficiar la salud humana y el ambiente donde vive" (Karlen, D. L.; Mausbach, M. J.; Doran, J. W; Cline, R. G.; Harris, R. F. *et al.*, 1995).

En la misma década de 1990, la calidad del suelo se convirtió en un sistema de evaluación necesario para establecer un índice de condiciones de sostenibilidad edáficas y diseñar políticas de manejo y conservación, ya sean ligadas a un interés agrícola o ecológico, y que vino unido a una concienciación global sobre el expolio de los suelos realizado en las últimas décadas por el abuso de agentes químicos como pesticidas o abonos y la tala masiva que produce una degradación de los suelos (Mora Hernández, J.L., 2008).

Se conocen cuáles son los umbrales para saber el nivel degradación del suelo pero aún carecemos de indicadores y valores de umbral adecuados que nos ayudan a saber cuándo se producirán cambios ambientales irreversibles (Paz-Ferreiro J. y Shenglei F., 2016).

Los indicadores de calidad del suelo deben proporcionar información clave sobre la función, la composición y la estructura del medio ambiente ecológico y, simultáneamente, integrar las complejidades del ecosistema. Sin embargo, los indicadores deben ser lo más simples posible para facilitar su aplicación. Además, está el problema de la interpretación de los indicadores; Siempre existe una relación lineal entre el valor del indicador y la función del suelo. Debido a la dificultad de definir y cuantificar la calidad, la mayoría de los estudios que involucran propiedades biológicas del suelo no intentan cuantificar la calidad del suelo sino que utilizan parámetros definidos y realizan una valoración cualitativa a partir de estos (Paz-Ferreiro J. y Shenglei F., 2016).

Normalmente los indicadores se clasifican de acuerdo a su naturaleza como visuales, físicos, químicos y biológicos (Mora Hernández, J.L., 2008). Además, tienen que ser cuantificables y estar relacionados para hallar una correlación entre ellos a la hora de analizarlos. Nosotros nos centraremos en este trabajo en los indicadores de naturaleza biológica que son aquellos relacionados con la actividad biológica del suelo, ya que cuanto mayor sea ésta mayor será la calidad del suelo y del ecosistema del que forma parte.

2.2. Suelos de laurisilva y pinar

Dentro de los ecosistemas que podemos encontrar en las islas, caben destacar dos que se pueden encontrar a una misma altitud en algunas zonas, siendo la diferencia propiciada por la situación geográfica (norte o sur) de los mismos y el clima en el que se encuentran. Aun así, la disparidad en cuanto a la vida que estos ecosistemas albergan hacen necesario el estudio de la calidad de sus suelos para averiguar qué los hacen únicos.

Laurisilva o monteverde

Se encuentra en altitudes situadas entre los 500 y los 1500 metros en la vertiente norte y entre los 800 y los 1200 metros en la vertiente sur en las islas occidentales y Gran Canaria. Se trata de un ecosistema con una alta actividad pluvial, una temperatura media anual de 13°C a 16°C, una humedad relativa próxima al 100% y una insolación baja. El bioclima se define como infra-termo-mesomediterráneo, pluviestacional, seco-subhúmedo-húmedo. Las precipitaciones altas y la elevada retención de agua en los suelos permite a la mayor parte de ellos tener un edafoclima údico. El régimen térmico del suelo es típicamente isomésico, con temperaturas del suelo a 50 centímetros entre 8 y 15°C con variaciones suaves a lo largo del año (Mora Hernández, J.L., 2008).

Estos factores climáticos hacen posible la presencia de una gran biomasa vegetal que caracteriza a este ecosistema y por el que se le da el nombre común de monteverde, siendo importantes las comunidades vegetales de laurisilva y el fayal-brezal.

Los suelos de estas formaciones de Monteverde son casi siempre distintos tipos de Andosoles y de diferentes profundidades dependiendo de la topografía del terreno (Guerra, J.A., 2009)

Pinar

Se encuentra entre los 1500 y los 2000 metros de altitud en la fachada norte y los 1100 y 2000 metros en la fachada sur de las islas occidentales y Gran Canaria. Este ecosistema tiene una menor actividad pluvial que el monteverde (entre los 350 y 500 mm anuales). La humedad relativa es variable dependiendo de la época del año y la tasa de insolación es de 6 a 8 horas, siendo mayor que en monteverde. El bioclima propio de la zona es

mesomediterráneo, pluviestacional, seco-subhúmedo inferior. En este ecosistema, la temperatura del suelo puede variar a lo largo del año en unos 6°C, con unas temperaturas que van de los 8 a los 15°C, se clasifica como méxico, y el régimen hídrico (variando entre un suelo seco en los meses calurosos y húmedo en los meses más fríos del año) se clasifica como xérico o ústico.

La especie que da nombre al ecosistema es el pino canario (*Pinus canariensis*), que ocupa casi la totalidad de la bóveda, aunque también existen otras especies vegetales de menor tamaño (herbáceas y arbustos) que ocupan los lugares a los que llega una mayor cantidad de luz entre los pinos. Esta vegetación también se caracteriza por su alta resistencia a los fuegos y a su gran capacidad regenerativa tras estos.

Los suelos de las formaciones de pinar canario, suelen ser también Andosoles, aunque se encuentran frecuentemente Cambisoles y Faeozems, dependiendo de las características de humedad y de densidad del arbolado (Guerra, J.A., 2009).

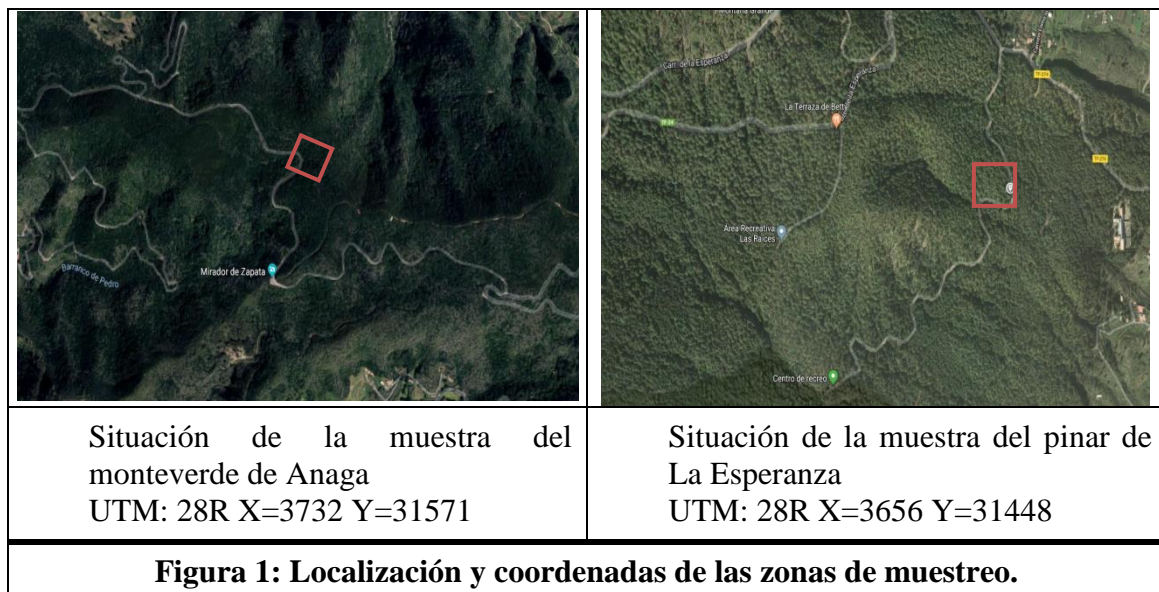
3. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo, es realizar una comparación de la calidad biológica de los suelos del monteverde de Anaga y del pinar de La Esperanza, basándonos en un índice diseñado por nosotros (Armas, C.M. et al., 2007), para evaluar la calidad biológica del suelo en los ecosistemas canarios. Al mismo tiempo nos hemos fijado como objetivo una comparación sencilla de diferentes parámetros biológicos en ambos tipos de suelos, que contribuya aún más a evaluar la calidad biológica.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Selección de las zonas de estudio

Para este trabajo se seleccionaron dos áreas en la isla de Tenerife: El Macizo de Anaga en la parte correspondiente al municipio de Tegueste y cuyo ecosistema característico es el monteverde; y la zona de Las Raíces del municipio de El Rosario cuyo ecosistema característico es el pinar. Las muestras de suelo se recogieron en la primavera de 2017.



En cada una de estas zonas se recogieron tres muestras de suelo dispuestas al azar a una profundidad de 0-15 cm.

Como referencia de los suelos característicos de cada ecosistema se tomaron los perfiles Hoya del Becerro (Guerra, J.A., 2009) (Andosol silándico) representativo del pinar de La Esperanza y Las Lajas (Departamento de Edafología y Geología. 1991) (Andosol úmbrico) representativo del monteverde de Anaga.

4.2. Breve descripción morfológica de los perfiles

Perfil Hoya del Becerro (Guerra, J.A., 2009)



Figura 2: Perfil Hoya del Becerro

El perfil Hoya del Becerro, situado en el entorno donde se recogieron las muestras para este trabajo, corresponde a un Andosol silándico (WRB 2014) desarrollado sobre piroclastos basálticos pleistocénicos (Serie III) y con una secuencia de horizontes de tipo A, Bw/Bt.

El horizonte superficial mide casi 70 cm. El color del suelo se hace más rojizo a medida que profundizamos en el perfil (pasa de 5YR a 2,5YR) y la textura más arcillosa, lo que hace que la estructura pase de grumosa media a poliédrica angular gruesa. Ambos horizontes está profundamente enraizados, el test del NaF es positivo y en la base del perfil son frecuentes los cutanes arcillosos y algunos manganos.

Perfil Las Lajas (Departamento de Edafología y Geología, 1991)



El perfil Las Lajas, situado así mismo en el entorno donde se recogieron las muestras para este trabajo, corresponde a un Andosol úmbrico (WRB, 2014) desarrollado sobre piroclastos basálticos pleistocénicos (Serie III) y con una secuencia de horizontes de tipo O, A1, Bw.

El horizonte superficial mide también casi 70 cm. El color del suelo oscila desde pardo muy oscuro, casi negro en superficie (10YR), hasta un color pardo rojizo en el horizonte Bw (5YR). La textura pasa de limoarcillosa a arcillolimsa y la estructura de grumosa a poliédrica muy fina y muy friable. Existen abundantes raíces finas y muy finas en todo el perfil y el test del NaF es positivo en ambos horizontes.

Descripción de los horizontes muestreados.

Se ha realizado una descripción de los dos horizontes que se han muestreado de los 0 a los 15 cm. El suelo de estos horizontes estaba en estado seco en los dos casos debido a que

durante las fechas de muestreo no se registraron lluvias. El color del horizonte que muestreamos es marrón-naranja-rojizo, (5YR 3/6) en el suelo del pinar y marrón oscuro (5YR 2/3) en el suelo de laurisilva. La textura del suelo del pinar es arcillo-limosa, mientras que la del suelo de laurisilva es una textura limosa.

También la presencia de poros de diferentes tamaños y gravas hace del suelo de pinar un suelo donde el agua se filtra mejor mientras que el suelo de laurisilva presenta muchos microporos y es muy friable, lo que indica una mayor retención del agua en superficie.

Por último, se puede apreciar la presencia de una mayor cantidad de raíces de tamaño pequeño y medio, además de la presencia de algunos coleópteros protegidos por un mantillo de unos 2 cm en la laurisilva mientras que en pinar se distinguen raíces de pequeño tamaño tanto vivas como muertas y no se observó fauna. Por lo que se puede afirmar que la presencia biótica entre los 0 y los 15 cm, es mayor en la laurisilva que en el pinar.

4.3 Métodos analíticos

Los parámetros han sido seleccionados a partir de los estudios realizados por otros autores (Armas, C.M. et al., 2007) por destacar su influencia en la elaboración de este índice de carácter cualitativo y son: la respiración de suelo en el campo, el carbono oxidable, el carbono soluble en agua caliente y las actividades de las enzimas CM-celulasa y deshidrogenasa. También se hizo necesario, la determinación de la densidad aparente, para transformar los resultados a forma volumétrica y el porcentaje de humedad del suelo para referir los datos a peso seco.

- **Respiración del suelo (en el campo)**
- **Carbono orgánico oxidable total**
- **Carbono soluble en agua caliente**
- **Actividad de la CM-celulasa**
- **Actividad de la deshidrogenasa**
- **Densidad aparente**
- **Humedad**

4.3.1. Respiración del suelo en el campo

La cuantificación del CO₂ emitido por el suelo, procedente de la respiración de los microorganismos, la macrofauna y las raíces de las plantas, se lleva a cabo en el campo por el método de las trampas de sosa, siguiendo a Zibilske (1994). Este método se basa en la ubicación sobre el suelo de cámaras que contienen una solución de hidróxido sódico de concentración conocida. El CO₂ emitido por el suelo reacciona con el NaOH, generándose Na₂CO₃:



De este modo podremos valorar la cantidad de NaOH que no se ha carbonatado, y por diferencia, conocer la cantidad de sosa que ha reaccionado con el CO₂ desprendido y conocer la cantidad de éste.

En este caso se utilizaron cámaras de acero inoxidable abiertas en sus dos extremos, de dimensiones 22x22x30 cm. Sobre la superficie del suelo se dispuso un mínimo de tres cámaras, introduciendo su borde inferior a unos 2 cm. En el interior de cada cámara se colocó un recipiente con 50 ml de NaOH 0.5N, sobre un trípode cuya función es minimizar el contacto con la superficie del suelo para evitar que tape la transpiración en el punto en el que se posa. La medida incluyó la realización de 2 blancos, que consistía en la ubicación de



Figura 4: Trípode con el recipiente en el que se disponen los 50 ml de NaOH.

dos recipientes más con la misma cantidad de solución alcalina en el interior de una cámara de las mismas dimensiones, cerrada en este caso por su lado inferior y que se dispuso también sobre la superficie del suelo. Todas las cámaras fueron cerradas herméticamente y, transcurridas 24 horas, se abrieron para extraer los recipientes de NaOH para su valoración en laboratorio.



Trampa de NaOH para el muestreo de CO₂ emitido por el suelo en el pinar de Las Raíces.



Trampa de NaOH para el muestreo de CO₂ emitido por el suelo en el Monteverde de Anaga.



Colocación de las trampas de sosa en el pinar de Las Raíces.



Colocación de las trampas de sosa en el monteverde de Las Mercedes.

Figura 5: Colocación de las trampas de NaOH para el muestreo de la respiración de suelo en ambos ecosistemas.

Para ello se tomaron alícuotas de 2 ml de los recipientes de sosa y se añadió 1 ml de BaCl₂ al 20%, lo cual facilita la precipitación de los carbonatos:



La sosa fue valorada con HCl 0.1N hasta el punto de viraje de la fenolftaleína. La valoración nos dará la cantidad de sosa presente en la muestra en ese momento, por lo que podemos saber cuánto CO₂ ha precipitado. Los resultados se expresan como miligramos de carbono en forma de dióxido de carbono emitidos por metro cuadrado y hora durante un periodo de 24 horas (mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹, 24h).

4.3.2. Formas de carbono analizados

Carbono orgánico oxidable total

Se trata de un método de determinación de todas las formas de carbono oxidable del suelo. Se analiza en la fracción de tierra fina de muestras de suelo secas al aire y finamente trituradas, mediante oxidación crómica en medio ácido y valoración del exceso de dicromato potásico con sulfato ferroso amónico (Walkley-Black, 1934).

Se determina el C orgánico del suelo por oxidación con dicromato en presencia de ácido sulfúrico. El exceso de oxidante que no ha reaccionado con el C orgánico, se valora con sulfato ferroso y por diferencia se calcula el oxidante que ha reaccionado y el C orgánico. El resultado se expresa en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C Kg⁻¹) y posteriormente en formas volumétrica (g C m⁻² de suelo) .

El método se basa en que todos los compuestos orgánicos, con algunas excepciones pueden oxidarse por acción de agentes oxidantes fuertes en condiciones ácidas.



$$C=2n/3 + a/6 -b/3$$

En este método se pesan entre 0,5-2 gr de muestra dependiendo de la cantidad de carbono estimado que pueda tener la muestra y se coloca en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Debido a que este método no contempla suelos con una gran cantidad de carbono, para el caso de los suelos de laurisilva, pesamos solamente 0,1 gr de suelo seco al aire.

Carbono soluble en agua

Este método descrito por Ghani *et al.* (2003) permite la extracción de una parte muy importante del carbono lábil del suelo (incluyendo una parte del carbono ligado a la biomasa microbiana), principalmente carbohidratos (40-50 % de los extractos), proteínas y aminoácidos. El método se inicia con el pesado de 3 g de suelo (fresco, tamizado a 2 mm) en tubos de 50 ml y la adición a cada uno de 30 ml de agua desionizada. Tras agitar durante 30 minutos y centrifugar 20 minutos a 3.500 r.p.m., se filtra a través de un filtro de nitrocelulosa de 0,45 μ de diámetro de poro, y se separa el extracto obtenido, que incluye formas de carbono solubles en agua a temperatura ambiente. Al sedimento restante se le añaden otros 30 ml de agua, se agita 10 segundos en un vórtex y se mantiene durante 16 horas en un baño a 80°C. Al final del período de extracción, se repite el mismo procedimiento de centrifugación y filtrado. El extracto, corresponde al C soluble en agua caliente, ambos extractos se analizan mediante el método de Walkley-Black (1934). Los resultados se expresan en gramos de carbono por kilogramo de suelo (gKg^{-1}) y posteriormente en forma volumétrica (gCm^{-2}).

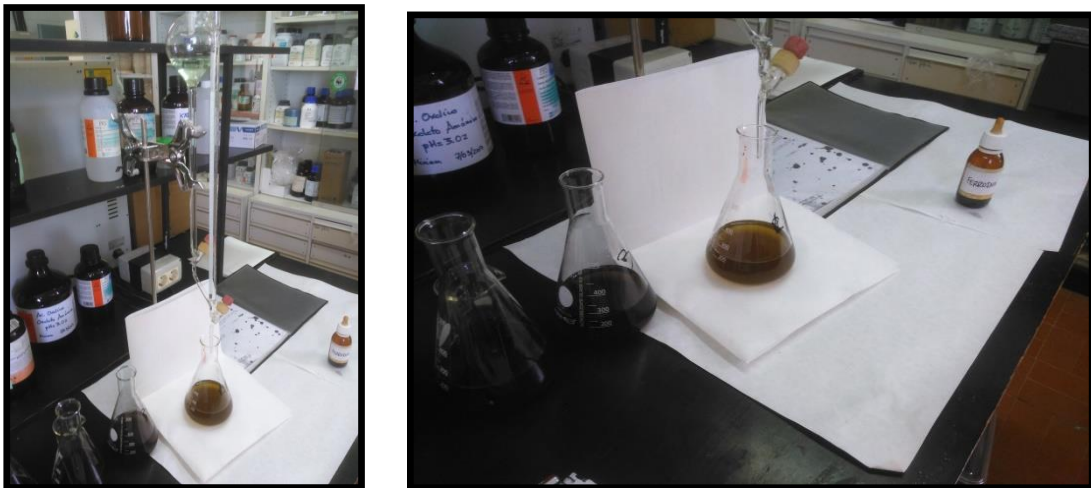


Figura 6: Valoración del carbono oxidable mediante el método de Walkley-Black (1934)

4.3.3. Actividad deshidrogenasa

La actividad deshidrogenasa de los suelos se considera como un buen indicador de su actividad microbiana, al ser los diferentes tipos de deshidrogenasas fundamentales en las etapas iniciales de oxidación de los compuestos orgánicos del suelo (Trasar-Cepeda *et al.*, 2003). Su

determinación se basa en el uso de sales solubles de tetrazolio como aceptores artificiales de electrones. En nuestro caso hemos seguido el procedimiento de Camiña *et al.* (1997), que utiliza como sustrato el 2-p-iodofenil-3-p-nitrofenil-5-feniltetrazolio, conocido como INT. Las muestras de suelo son incubadas en un medio cerrado y en oscuridad durante una hora a 40°C con INT, este, se reduce por las deshidrogenasas presentes en el suelo formándose idonitrotetrazolio formazán (INTF). La actividad deshidrogenasa se deduce de la concentración del INTF producido cuantificada por colorimetría del color naranja rojizo, después de su extracción con un solvente. Los resultados se expresan en su forma volumétrica en micromoles de INTF por metro cuadrado de suelo y hora ($\mu\text{mol INTF m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

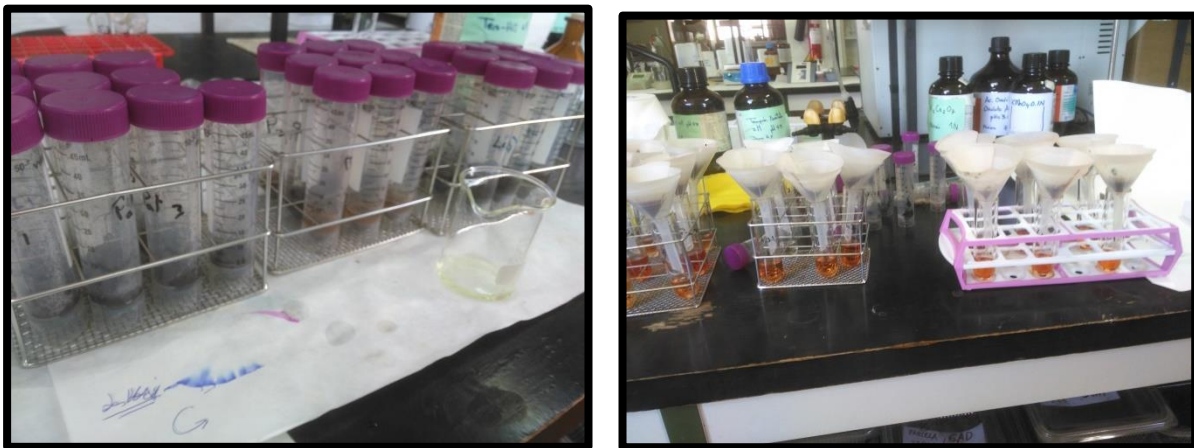


Figura 7: Proceso de filtrado de las muestras para su posterior cuantificación en el espectrofotómetro para el cálculo de μmol de INTF formados por la actividad de la deshidrogenasa por cada metro cuadrado y hora

4.3.4. Actividad CM-celulasa

Este ensayo permite determinar la cantidad de celulasa presente en el medio la cual produce la descomposición de la celulosa en azúcares simples. Este método se realiza en dos etapas: la transformación de la celulosa cristalina insoluble en celulosa amorfa soluble (por la acción de exoglucanasas), y la despolimerización de la celulosa amorfa hasta la liberación de oligosacáridos (endoglucanasas). La medición de la actividad celulasa se basa en la valoración de los azúcares reductores generados a partir de la degradación de una celulosa amorfa (carboximetil-celulosa).

Las determinaciones realizadas siguen el procedimiento de Schinner & Von Mersi (1990). Las muestras de suelo se incuban durante veinticuatro horas a 50°C en un medio tamponado a pH 5,5. Después, se cuantifica la glucosa, que aparece como consecuencia de la acción de la celulasa sobre la celulosa dividiendo a este polisacárido. Este proceso es visible por el color azul originado en la reacción con hexacianuro férrico potásico. Los resultados se expresan en forma volumétrica como micromoles de glucosa por metro cuadrado de suelo y hora ($\text{mmol glucosa m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

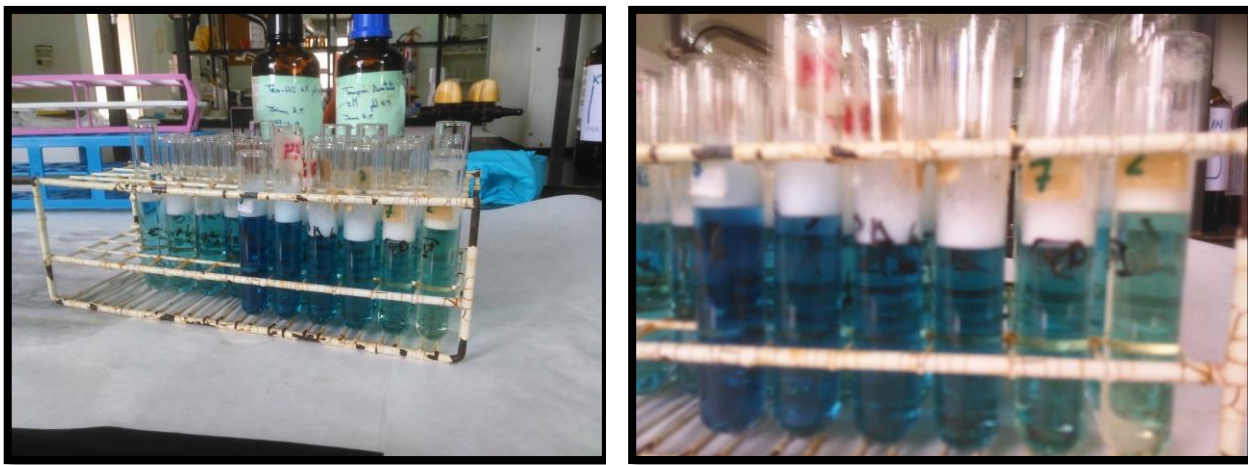


Figura 8: Color azul producido por la glucosa liberada al reaccionar con hexacianuro férrico potásico. A la derecha, se aprecia el gradiente de color azul que representará la recta patrón en el experimento

4.3.5 Densidad aparente

La determinación se realizó en muestras no perturbadas de suelo recogidas en cilindros metálicos de volumen conocido, y se secaron en estufa a 105°C hasta peso constante. Se calculó la densidad aparente como el cociente entre el peso seco de la muestra de suelo y volumen del cilindro. Los datos se expresan en kilogramos por litro (MgM_3). (Armas Herrera, C.M., 2010).

4.3.6 Humedad

Para el cálculo de la humedad se pesan 10 gramos de las muestras de suelo recogidos en el campo, y se pone a secar en una estufa a 105°C. Una vez esta muestra alcanza un peso constante, se vuelve a pesar. El porcentaje de humedad se obtiene de la diferencia entre el peso del suelo húmedo y el suelo seco y todo esto dividido por el peso del suelo seco.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Densidad aparente y humedad

Localización	Media densidad aparente (MgM. ₃)	% Humedad
Laurisilva	0,64	13,94
Pinar	1,06	5,75

Tabla 1: Datos medios de la densidad aparente y el porcentaje de humedad en los suelos de laurisilva y pinar muestreados.

La densidad aparente es muy baja en todos los suelos, sobre todo en aquellos muestreados bajo laurisilva, como corresponde a Andosoles o suelos con características ándicas. Sin embargo el horizonte superficial de los suelos bajo pinar aparece ligeramente más compactado y más seco que los de laurisilva (Tabla 1).

5.2. Respiración del suelo en el campo:

Localización	mg C-CO ₂ m ⁻² h ⁻¹ , 24 h (media ± desviación típica)
Laurisilva	84,70 ± 10.51
Pinar	64.39 ± 3.88

Tabla 2: Respiración del suelo en el campo (mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹, 24 h) (media ± desviación típica)

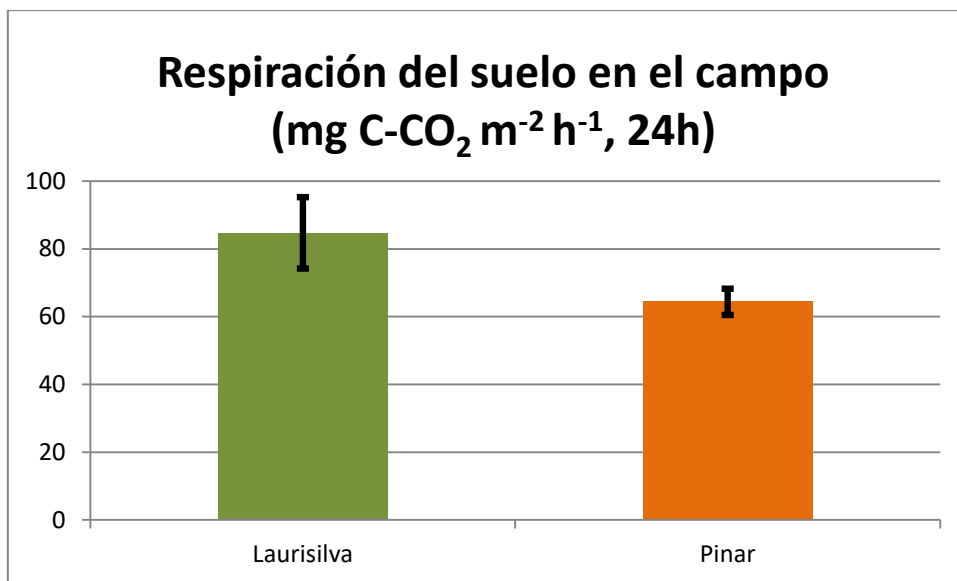


Figura 9: Representación de los miligramos de C en forma de CO₂ por metro cuadrado en una hora liberados por los suelos de laurisilva y pinar durante 24 horas (mg C-CO₂ m⁻² h⁻¹, 24 h (media ± desviación típica).

En este ensayo se observa las emisiones de CO₂ en los suelos de Las Mercedes (laurisilva) y Las Raíces (pinar) medido mediante trampas de sosa (Apartado 3.3.1). Se aprecia una clara diferencia entre los suelos de laurisilva y los de pinar, siendo los de laurisilva los que destacan con el desprendimiento de una cantidad mayor de CO₂. Esto indica que la actividad respiratoria de los organismos que viven en el suelo es mayor y por lo tanto cabe a esperar una mayor actividad también enzimática y, la presencia de mayor cantidad de carbono como sustrato energético para los organismos que se encuentran en estos suelos (Figura 9).

Resultados similares obtiene Armas Herrera C.M. (2010) con mayores emisiones para suelos de laurisilva que de pinar, aunque los resultados obtenidos por este autor en primavera son más altos que los encontrados por nosotros, los cuales son más parecidos a los obtenidos en verano por el autor anteriormente citado. Probablemente éste hecho se deba a la extrema sequía que presentaban los suelos en la primavera en que se realizó este muestreo.

5.3. Formas de carbono analizadas

5.3.1. Carbono oxidable total

Engloba la mayor parte de la materia orgánica humificada del suelo. Se cuantificó por el método de oxidación con dicromato potásico en medio sulfúrico (Walkley-Black, 1934) en muestras de tierra fina previamente pulverizadas en mortero de ágata, expresándose los resultados en forma volumétrica (Kg C m^{-2} de suelo).

Localización	C oxidable (Kg m^{-2}) (media \pm desviación típica)
Laurisilva	20.55 ± 0.28
Pinar	6.81 ± 0.17

Tabla 3: Carbono oxidable en los suelos de laurisilva y pinar (Kg m^{-2}) (media \pm desviación típica)

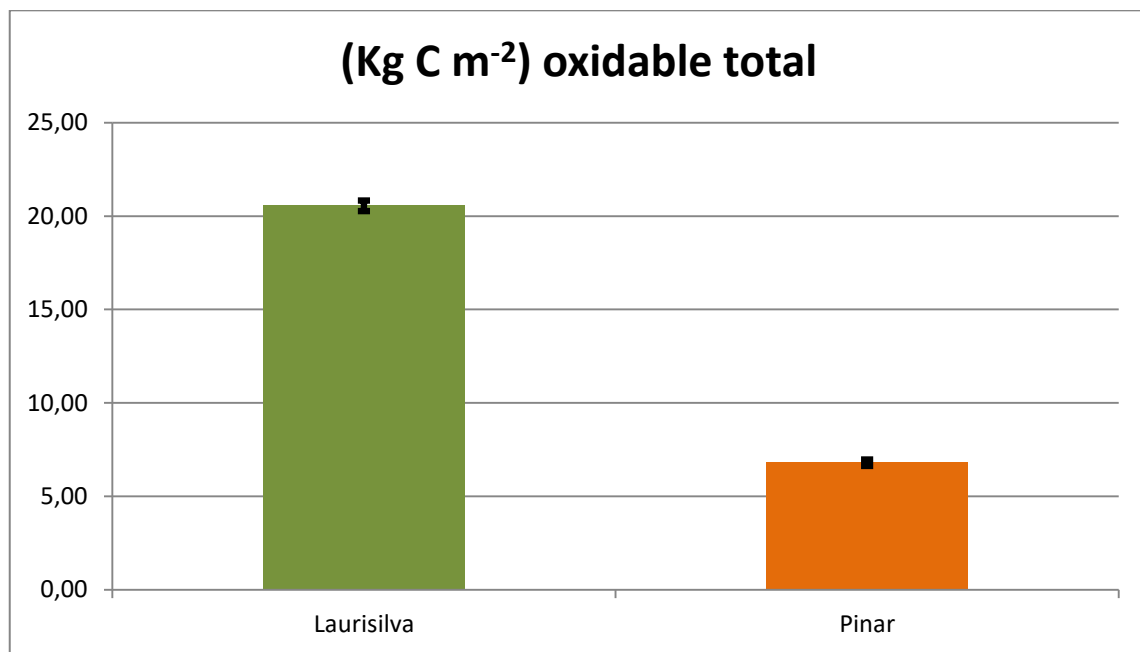


Figura 10: Representación del carbono oxidable (Kg m^{-2}) (media \pm desviación típica) presente en los suelos de laurisilva y pinar

Los resultados obtenidos para el carbono oxidable total en forma volumétrica, se encuentran dentro de la variabilidad observada para estos suelos y son similares a los obtenidos por Armas Herrera, C.M., 2010 y por otros autores, destacando siempre los valores más altos de

carbono oxidable total en los suelos bajo laurisilva, con una alta actividad microbiana en unos restos vegetales de fácil transformación, que en aquellos bajo pinar más ácidos y con predominio de restos vegetales resinosos y con abundante lignina de difícil mineralización.

5.3.2. Carbono soluble

Las proporciones de carbono obtenidas, tanto en los ensayos realizados de carbono soluble en agua fría y agua a 80°C, confirman una mayor presencia de este tipo de carbono en los suelos de laurisilva que en los de pinar.

Localización	(g C m ⁻²) soluble en agua (media ± desviación típica)	(g C m ⁻²) soluble en agua caliente (media ± desviación típica)
Laurisilva	103.80 ± 16.15	537.56 ± 51.37
Pinar	59.80 ± 6.85	96.43 ± 28.01

Tabla 4: Carbono soluble en agua a temperatura ambiente y en agua a 80°C (g C m⁻²) (media ± desviación típica)

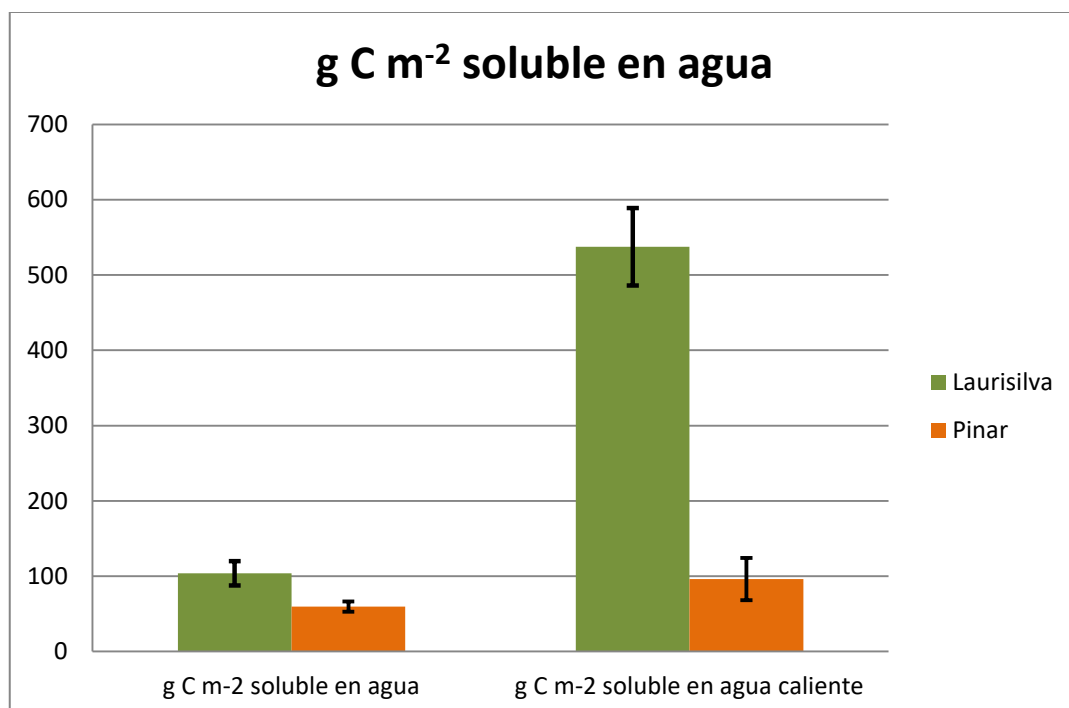


Figura 11: Representación del C (g m⁻²) (media ± desviación típica) soluble presente en los suelos de laurisilva y pinar

En la Figura 11 y en la tabla 4 podemos ver el porcentaje del carbono soluble tanto en agua a temperatura ambiente como en agua caliente.

Se observa que el carbono disuelto o soluble es siempre superior en los suelos de laurisilva que en los de pinar y lógicamente se disuelven más formas de carbono soluble cuando el suelo se extrae con agua caliente.

En comparación con los datos recogidos en otros estudios. Se observa que, en este trabajo la cantidad de carbono soluble se parece más a la obtenida en los meses de verano presentados por Armas Herrera, C.M. (2010), lo que se justifica por la sequedad del suelo muestreado y a una situación climática especialmente calurosa durante nuestro muestreo.

La presencia de este carbono que podemos considerar como lábil dada su alta solubilidad puede ser un buen indicador de calidad biológica general del suelo.

5.4. Actividad CM-celulasa

Al constituir la celulosa el constituyente más abundante de los residuos vegetales y una de las entradas más importantes de carbono al suelo, el análisis de la actividad de la carboximetil-celulasa en los suelos resulta de gran interés.

Localización	mmol glucosa m ⁻² h ⁻¹ (media ± desviación típica)
Laurisilva	39.11 ± 2.14
Pinar	18.21 ± 5.99

Tabla 5: Actividad de CM- Celulasa (mmol glucosa m⁻² h⁻¹)

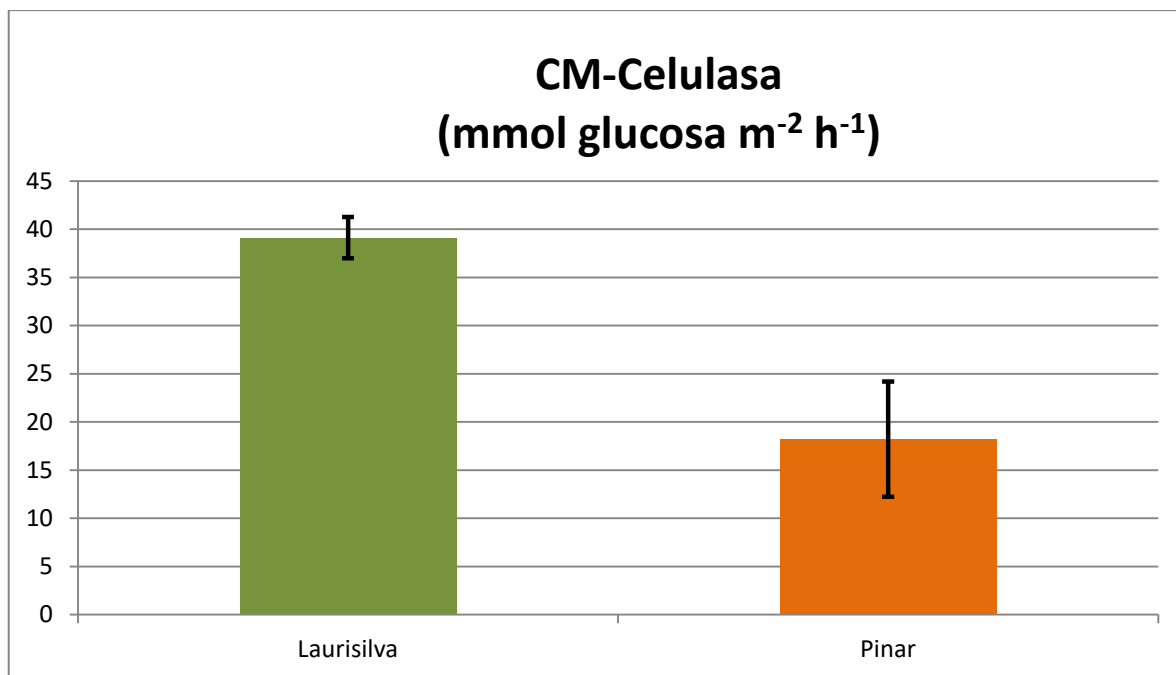


Figura 12: Representación de los mmol glucosa m⁻² h⁻¹, que se forman a partir de la actividad de la CM-Celulasa

En la Figura 12, se observa una mayor presencia de actividad de carboximetil-celulasa en suelos de laurisilva, posiblemente debido a una mayor presencia de materia orgánica vegetal celulósica de fácil descomposición en estos suelos que en los de pinar.

La cantidad de CM-celulasa en los ensayos hechos en las muestras de laurisilva en la zona de Las Mercedes), es mayor incluso que en los datos obtenidos para los suelos de la zona de montaña húmeda (Armas Herrera, C.M., 2010), en cambio los muy próximos a los obtenidos por esta autora tanto para el pinar húmedo como para el pinar xérico.

5.5. Actividad Deshidrogenasa

Las enzimas deshidrogenasas del suelo ejercen un papel fundamental en las primeras etapas de oxidación de la materia orgánica y por lo tanto se consideran un gran indicador de la actividad de los microorganismos en el suelo.

Localización	mmoles INTF m ⁻² h ⁻¹ (media ± desviación típica)
Laurisilva	42.27 ± 3.93
Pinar	32.02 ± 1.96

Tabla 6: Actividad Deshidrogenasa a partir de la formación del producto de su actuación, INTF.

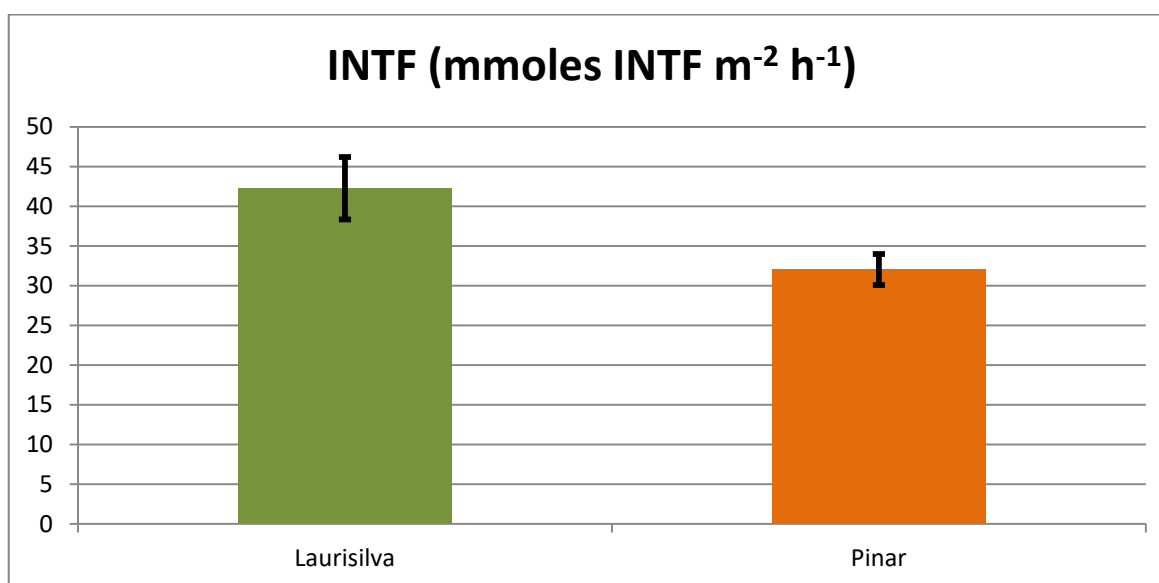


Figura 13: Actividad deshidrogenasa en mmoles INTF m⁻² h⁻¹ formados a partir de su actuación, en los suelos de laurisilva y pinar.

Podemos interpretar de esta gráfica (Figura 13) que la actividad de la enzima deshidrogenasa también está ligada al resto de factores que se han analizado, siendo los suelos de laurisilva los que mayor actividad de esta enzima presentan. Esto vendría explicado por el resto de diversos factores determinados como son la presencia de una mayor cantidad de carbono en el suelo que proviene de los organismos que habitan en él y que, al realizar procesos metabólicos generan CO₂ que se libera a través de los poros del suelo.

Las medidas obtenidas en este ensayo coinciden con el de otros autores, confirmando que en monteverde hay una mayor presencia de la enzima deshidrogenasa que en pinar.

5.6. Índice de calidad biológica (I.C.B.)

El Índice desarrollado en relación con la degradación del ecosistema, se ha llevado a cabo mediante una aproximación ecosistémica. Se sabe que muchas propiedades biológicas del suelo alcanzan una gran estabilidad en los ecosistemas maduros, cuando se tiende al equilibrio.

Así la regresión lineal múltiple de propiedades bioquímicas es una herramienta útil para describir este equilibrio. En este índice el carbono orgánico total de los suelos de los ecosistemas se relaciona con los parámetros biológicos estudiados, resultando la ecuación siguiente:

Carbono Total Calculado= $2.924 + 0.037C_{80} - 0.096 \text{ celulosa} + 0.081 \text{ deshidrogenasa} + 0.009 \text{ respiración}$, siendo *ki* las constantes del análisis de regresión

El Índice de Calidad Biológica adquiere entonces la forma:

$$\text{ICB} = \frac{\text{Carbono total calculado}}{\text{carbono total observado}}$$

Y se aproximará más a la unidad cuanto mejor conservado estén los suelos del ecosistema.

Localización	C-total real	C-total calculado	I.C.B.
Laurisilva	20.54	17.39	0.84
Pinar	6.81	2.07	0.30

Tabla 7: Valores reales y calculados del carbono total del suelo y resultado del I.C.B.

El Índice de Calidad Biológica (I.C.B.) observado (Tabla 7) demuestra que, con los parámetros estudiados, el suelo de laurisilva es de mucha mayor calidad que el de pinar.

Dado a que los valores de pinar son mucho más bajos de los esperados, se crea la hipótesis de que la calidad biológica del suelo estudiado es mucho menor debido a la cercanía de la zona de muestreo a una vía de automóviles pudiendo haber alterado negativamente los parámetros estudiados.

También se observa que, en comparación con los índices obtenidos por Armas C.M. et al. (2007), el suelo de laurisilva de este estudio tiene una calidad biológica menor porque el primero pertenece a un suelo de laurisilva de la isla de La Gomera.

6. CONCLUSIONES:

Se han podido observar que en los parámetros analizados: transpiración en mg CO₂ por metro cuadrado a la hora, carbono total oxidable y carbono soluble en agua caliente y la presencia de las enzimas CM-celulasa y deshidrogenasa; una mayor presencia de todos estos en la zona representativa de laurisilva o monteverde localizada en Anaga. La presencia de estos parámetros está correlacionada con la presencia de organismos y el abastecimiento de sus necesidades biológicas. Por lo tanto, la calidad biológica de los suelos de pinar permitirá el desarrollo de otros organismos cuyos requerimientos biológicos son menores (sobre todo a nivel vegetal) y definen al ecosistema de pinar.

Según la definición de calidad biológica del suelo, podemos determinar que, en la comparación de suelos de laurisilva y pinar realizadas a partir de muestras obtenidas en las zonas de Las Mercedes (La Laguna) y Las Raíces (La Esperanza), en primavera del 2017, el índice de calidad biológica apunta a una mayor calidad de los suelos de laurisilva frente a los suelos de pinar. Esto es debido a que, dentro de los parámetros analizados, este suelo abastece mejor a los organismos que se encuentran en él, cumpliendo así su función dentro del ecosistema en el que se encuentra, con una mayor eficiencia en la laurisilva y, permitiendo el desarrollo de una mayor cantidad de organismos así como la presencia de una vegetación más densa y variada cuyas necesidades nutricionales son mayores que en el caso del pinar.

Conclusions:

It has been observed that in the parameters analyzed: transpiration in mg CO₂ per square meter per hour, total oxidizable carbon and soluble carbon in hot water and the presence of CM-cellulase and dehydrogenase enzymes; a bigger presence of all these in the representative zone of laurisilva or monteverde located in Anaga. The presence of these parameters is correlated with the presence of organisms and the supply of their biological needs. Therefore, the biological quality of pine soils will allow the development of other organisms whose biological requirements are lower (especially at the plant level) and define the pine ecosystem.

According to the definition of biological quality of the soil, we can determine that, in the comparison of laurel and pine soils made from samples obtained in the areas of Las Mercedes (La Laguna) and Las Raíces (La Esperanza), in the spring of 2017, the biological quality index points to a higher quality of laurisilva soils compared to pine soils. This is because, within the parameters analyzed, this soil provides better to the organisms that are in it, fulfilling its function within the ecosystem in which it is located, with a greater efficiency in the laurel forest and, allowing the development of a greater quantity of organisms as well as the presence of a denser and more varied vegetation whose nutritional needs are greater than in the case of the pine forest.

BIBLIOGRAFÍA:

- **Armas Herrera, C.M.**, 2010. *Caracterización físico-química y dinámica del carbono orgánico en los suelos de algunos ecosistemas de las islas Canarias*.
- **Armas, C.M., Santana B., Mora, J.L., Notario J.S., Arbelo, C.D., Rodríguez-Rodríguez, A.** . 2007. *A biological quality index for volcanic Andisols and Aridisols (Canary Islands, Spain): Variations related to the ecosystem degradation*. **378**, (1-2), pp. 238-244, 2007.
- **Asterio Guerra, J.G.**, (2009). Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la isla de Tenerife, *Secuencia edáficas evolutivas y regresivas*. (I.S.B.N.:978-84-7756-929-9).
- **Benintende, S., Benintende, M., Sterren, M., Saluzzio, M., Barbagelata, P.** 2015. Ecological Indicators (**52**, pp. 147-152). *Biological variables as soil quality indicators: Effect of sampling time and ability to classify soils by their suitability*.
- **Camiña, F., Trasar-Cepeda, C., Gil-Sostres, F., and Leirós, C.** 1997. Measurement of dehydrogenase activity in acid soils rich in organic matter. *Soil Biology and Biochemistry (submitted)*.
- **Doran, J.W. y Parkin, T.B.** 1994. Defining and assessing soil quality, pp. 3-21. En Doran J.W. y Jones A.J. (Eds.), *Defining Soil Quality for a sustainable environment*.
- **García, C., Gil, F., Hernández, T., Trasar, C.**, 2003. *Técnicas de Análisis de parámetros bioquímicos en suelos: Medida de actividades Enzimáticas y biomasa microbiana*.
- **García, Y., Ramírez, W., Sanchez, S.**, 2012. *Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource*. (**35**, (2))
- **Ghani, A., M. Dexter & K.W. Perrott**, 2003. Hot-water extractable carbón in soils: a sensitive measurement for dreaming impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 1231-1243.
- **Haluschak, P.** 2006. *Laboratory methods of soil analysis*. Canada-Manitoba soil survey.
- **Hernández Moreno, J.M., Rodríguez Rodríguez, A., Jimenez Mendoza, C.C., Espino Mesa, M., Rodriguez Hernández, C.M. et al.**, 1991. XVIII Reunion nacional de suelos, *Guía de Campo*, Departamento de Edafología y Geología, ULL.
- **Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F. et al.** 1995. *Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation*. **61**,(1), pp. 4-10
- **Mora Hernández, J.L.**, 2008. *Calidad del suelo y sucesión ecológica en los ecosistemas naturales de las islas Canarias*.
- **Paz-Ferreiro, J., Shenglei, F.**, 2016. Land degradation & development (**27**, (1) ,pp. 14–25). *Biological Indices for Soil Quality Evaluation: Perspectives and Limitations*. Jorge Paz-Ferreiro.
- **Rüdissera J., Tasserb, E., Pehama, T., Meyera, E., Tappeinera, U.**, 2015. *The dark side of biodiversity: Spatial application of the biological soil quality indicator (BSQ)*
- **Schinner, F., Von Mercy**, 1990. Xylanase, CM-Cellulase and invertase activity in soil: an improved method. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 511-515.
- **Trasar Cepeda, C., Leirós, M.C., García Fernández, F. y Gil-Sostres, F.**, 2003. Soil biochemical properties as indicators of soil biochemical properties as indicators of soil quality. En Lobo M.C. y Ibañez J.J. (Eds.), *Preserving soil quality and soil*

biodiversity. The role of surrogate indicators. IMIA-CSIC. Madrid, España. Pp. 119-140.

- **Walkley, A., Black, A.,** 1934. An examination of the Degtjereff method for determining soil organic matter and proposed modifications of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37 Pp. 29-38.
- **Zibilske, L.M.,** 1994. Carbon mineralization. En: S.H. Michelson & J.M. Bigham (Eds.) *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical Properties.* Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 836-863.

7. ANEXO

En este trabajo se han analizado tres muestras del mismo suelo, a su vez se realizaron tres réplicas de cada muestra para tener un resultado más preciso y disminuir la posibilidad de la aparición de errores durante el proceso.

Los datos adjuntos en la siguiente tabla (Anexo I) son los resultados de las medias de las réplicas de cada muestra en las unidades en las que se realizan cada experimento. Estas unidades son, en algunos casos, diferentes a las utilizadas para hayar el Índice de Calidad Biológica.

TABLA ANEXO I

	Resp. (CO₂)	C.O.T.	C.S.	C.S.C	CM-C	DesH.	H	D.A.
Laurisilva 1	72,6	216,13	0,89	5,91	0,39	0,41	13,64	0,64
Laurisilva 2	90,0	211,97	1,20	4,98	0,42	0,43	13,90	0,69
Laurisilva 3	91,5	157,94	1,16	5,91	0,39	0,49	14,29	0,58
Pinar 1	61,1	42,02	0,37	0,55	0,11	0,19	5,04	1,05
Pinar 2	68,7	43,58	0,42	0,80	0,16	0,21	6,61	1,05
Pinar 3	63,4	24,34	0,34	0,47	0,08	0,21	5,60	1,09

Resp. CO₂= Respiración CO₂ mgCO₂*m²*h⁻¹; C.O.T.=Carbono oxidable total (g. C kg.⁻¹);
 C.S.= Carbono soluble a temperatura ambiente (g. C kg.⁻¹); C.S.C.= Carbono soluble en agua
 caliente (g. C kg.⁻¹); CM-C=CM-Celulasa (μmol glucosa liberada*g suelo⁻¹* hora⁻¹);
 DesH=Deshidrogenasa (INTF utilizado (μmoles INTF *g⁻¹*hora⁻¹); H= Humedad(%); D.A.= Densidad
 aparente (Kg*L⁻¹)