



INFORME DE RESULTADOS

ESTIMACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DEL CARBONO NEGRO A LA FUSIÓN DE NIEVE DE LOS GLACIARES YANAPACCHA Y SHALLAP, PARA EL PERÍODO ENTRE OCT – 2015 HASTA AGO – 2016.

(Dpto. Ancash)

Trabajo presentado por:

SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, Wilmer E.

Huaraz – diciembre de 2016

Índice.....	pág.
1. OBJETIVO.....	8
1.1. Estimación de la nieve fundida a causa del carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap (oct – 2015 a ago – 2016).....	8
2. TEMA DE INVESTIGACIÓN	8
2.1. Carbono Negro en Glaciares	8
3. GLACIARES DE ESTUDIO	9
3.1. Acceso al glaciar Yanapaccha.....	9
3.2. Acceso al glaciar Shallap	10
4. ANÁLISIS DE FILTROS BAJO EL MÉTODO LAHM	10
4.1. Resultados de análisis de filtros	11
4.1.1. Glaciar Yanapaccha	12
4.1.2. Glaciar Shallap	12
5. PROCEDIMIENTO DE GABINETE	13
5.1. Ordenamiento de Datos de Carbono Negro	13
5.2. Obtención y Tratamiento de Datos de Radiación Solar	15
5.2.1. Datos de radicación solar de la estación meteorológica en el glaciar Shallap.....	16
5.2.2. Datos de radiación solar de la estación meteorológica en el glaciar Artesonraju	28
5.3. Aplicación de la Simulación SNICAR.....	39
5.3.1. Aplicación de SNICAR para el glaciar Yanapaccha	40
5.3.2. Aplicación de SNICAR para el glaciar Shallap	60
5.4. Estimación de Nieve Fundida.....	83
5.4.1. Nieve fundida en el glaciar Yanapaccha	83
5.4.2. Nieve fundida en el glaciar Shallap	85
6. RESULTADOS	91
6.1. Masas de carbono negro determinados en los filtros del glaciar Yanapaccha.	91
6.2. Masas de carbono negro determinados en los filtros del glaciar Shallap....	92
6.3. Variación del albedo de la nieve usando la simulación SNICAR para el glaciar Yanapaccha.	94
6.4. Variación del albedo de la nieve usando la simulación SNICAR para el glaciar Shallap.....	95
6.5. Energía total que llega sobre el glaciar Yanapaccha.....	96
6.6. Energía total que llega sobre el glaciar Shallap.....	97

6.7. Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Yanapaccha.....	99
6.8. Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Shallap.....	100
7. CONCLUSIONES.....	102
8. RECOMENDACIONES.....	103
9. BIBLIOGRAFIA.....	104
10. ANEXOS.....	105

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 01: Vista del glaciar Yanapaccha.....	9
Fotografía 02: Vista del glaciar Shallap.....	10
Fotografía 03: Diseño experimental de equipo de medición.....	11
Fotografía 04: Estación meteorológica ubicada en la morrena del glaciar Shallap.....	27

RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 01: Carbono Negro presente en nieve del glaciar Yanapaccha.....	12
Tabla 02: Carbono Negro presente en nieve del glaciar Shallap.....	13
Tabla 03: Datos ordenados para el glaciar Yanapaccha.....	14
Tabla 04: Datos ordenados para el glaciar Shallap.....	15
Tabla 05: Datos de radiación solar directa para el mes de octubre 2015 en el glaciar Shallap.....	16
Tabla 06: Datos de radiación solar directa para el mes de noviembre 2015 en el glaciar Shallap.....	17
Tabla 07: Datos de radiación solar directa para el mes de diciembre 2015 en el glaciar Shallap.....	18
Tabla 08: Datos de radiación solar directa para el mes de enero 2016 en el glaciar Shallap.....	19
Tabla 09: Datos de radiación solar directa para el mes de febrero 2016 en el glaciar Shallap.....	20
Tabla 10: Datos de radiación solar directa para el mes de marzo 2016 en el glaciar Shallap.....	21
Tabla 11: Datos de radiación solar directa para el mes de abril 2016 en el glaciar Shallap.....	22
Tabla 12: Datos de radiación solar directa para el mes de mayo 2016 en el glaciar Shallap.....	23
Tabla 13: Datos de radiación solar directa para el mes de junio 2016 en el glaciar Shallap.....	24
Tabla 14: Datos de radiación solar directa para el mes de julio 2016 en el glaciar Shallap.....	25
Tabla 15: Datos de radiación solar directa para el mes de agosto 2016 en el glaciar Shallap.....	26
Tabla 16: Energía total para cada mes en el glaciar Shallap.....	27
Tabla 17: Datos de radiación solar directa para el mes de octubre 2015 en el glaciar Artesonraju.....	28
Tabla 18: Datos de radiación solar directa para el mes de noviembre 2015 en el glaciar Artesonraju.....	29
Tabla 19: Datos de radiación solar directa para el mes de diciembre 2015 en el glaciar Artesonraju.....	30

Tabla 20: Datos de radiación solar directa para el mes de enero 2016 en el glaciar Artesonraju.....	31
Tabla 21: Datos de radiación solar directa para el mes de febrero 2016 en el glaciar Artesonraju.....	32
Tabla 22: Datos de radiación solar directa para el mes de marzo 2016 en el glaciar Artesonraju.....	33
Tabla 23: Datos de radiación solar directa para el mes de abril 2016 en el glaciar Artesonraju.....	34
Tabla 24: Datos de radiación solar directa para el mes de mayo 2016 en el glaciar Artesonraju.....	35
Tabla 25: Datos de radiación solar directa para el mes de junio 2016 en el glaciar Artesonraju.....	36
Tabla 26: Datos de radiación solar directa para el mes de julio 2016 en el glaciar Artesonraju.....	37
Tabla 27: Energía total para cada mes en el glaciar Artesonraju.....	38
Tabla 28: Datos elegidos e ingresados en la simulación SNICAR.....	40
Tabla 29: Albedo mensual en el glaciar Yanapaccha.....	60
Tabla 30: Albedo mensual en el glaciar Shallap.....	82
Tabla 31: Diferencia de albedo para el glaciar Yanapaccha.....	83
Tabla 32: Cálculo de la energía solar que llega al glaciar Yanapaccha.....	84
Tabla 33: Determinación de energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Yanapaccha.....	84
Tabla 34: Estimación de nieve fundida por el carbono negro en el glaciar Yanapaccha.....	85
Tabla 35: Diferencia de albedo para el glaciar Shallap.....	86
Tabla 36: Conversión de unidad de la energía para el glaciar Shallap.....	86
Tabla 37: Determinación de energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Shallap.....	87
Tabla 38: Estimación de nieve fundida por el carbono negro en el glaciar Shallap.....	88
Tabla 39: Secuencia de cálculos realizados para estimar la cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Yanapaccha.....	89
Tabla 40: Secuencia de cálculos realizados para estimar la cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Shallap.....	90

FIGURAS

Figura 01: Perfiles de Temperatura para siete filtros.....	11
Figura 02: Portal de la simulación SNICAR.....	39
Figura 03: Albedo de la nieve para una masa de carbono negro igual a cero.....	41
Figura 04: Albedo de nieve para el mes de octubre 2015 en el glaciar Yanapaccha.....	42
Figura 05: Albedo de nieve para el mes de noviembre 2015 en el glaciar Yanapaccha.....	43
Figura 06: Albedo de nieve para el mes de diciembre 2015 en el glaciar Yanapaccha.....	44
Figura 07: Albedo de nieve para el mes de enero 2016 en el glaciar Yanapaccha.....	45
Figura 08: Albedo de nieve para el mes de febrero 2016 en el glaciar Yanapaccha.....	46

Figura 09: Albedo de nieve para el mes de marzo 2016 en el glaciar Yanapaccha.....	47
Figura 10: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.....	48
Figura 11: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.....	49
Figura 12: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.....	50
Figura 13: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.....	51
Figura 14: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.....	52
Figura 15: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.....	53
Figura 16: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.....	54
Figura 17: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.....	55
Figura 18: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.....	56
Figura 19: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.....	57
Figura 20: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.....	58
Figura 21: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.....	59
Figura 22: Albedo de nieve para el mes de octubre 2015 para el glaciar Shallap.....	61
Figura 23: Albedo de nieve para el mes de noviembre 2015 en el glaciar Shallap.....	62
Figura 24: Albedo de nieve para el mes diciembre 2015 en el glaciar Shallap.....	63
Figura 25: Albedo de nieve para el mes de enero 2016 en el glaciar Shallap.....	64
Figura 26: Albedo de nieve para el mes de febrero 2016 en el glaciar Shallap.....	65
Figura 27: Albedo de nieve para el mes de marzo 2016 en el glaciar Shallap.....	66
Figura 28: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.....	67
Figura 29: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.....	68
Figura 30: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap....	69
Figura 31: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.....	70

Figura 32: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.....	71
Figura 33: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap...72	
Figura 34: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.....	73
Figura 35: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap...74	
Figura 36: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.....	75
Figura 37: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap...76	
Figura 38: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap...77	
Figura 39: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap....78	
Figura 40: Albedo de nieve para el mes de agosto 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.....	79
Figura 41: Albedo de nieve para el mes de agosto 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.....	80
Figura 42: Albedo de nieve para el mes de agosto 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap.....	81

GRAFICOS

Grafico 01: Variación de carbono negro entre octubre 2015 a marzo 2016 en el glaciar Yanapaccha...91	
Grafico 02: Variación de carbono negro entre abril a julio de 2016 en el glaciar Yanapaccha.....92	
Gráfico 03: Variación de carbono negro entre octubre 2015 a marzo 2016 en el glaciar Shallap.....92	
Gráfico 04: Variación de carbono negro entre abril a agosto de 2016 en el glaciar Shallap.....93	
Gráfico 05: Diferencia de albedo usando SNICAR para el glaciar Yanapaccha.....94	
Gráfico 06: Diferencia de albedo usando SNICAR para el glaciar Shallap.....95	
Gráfico 07: Energía total mensual que llega sobre el glaciar Yanapaccha.....96	
Gráfico 08: Energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Yanapaccha.....97	
Gráfico 09: Energía absorbida por el carbono negro en cada zona del glaciar Yanapaccha.....97	
Gráfico 10: Energía total mensual que llega sobre el glaciar Shallap.....98	
Gráfico 11: Energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Shallap.....98	
Gráfico 12: Energía absorbida por el carbono negro en cada zona del glaciar Shallap.....99	
Gráfico 13: Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Yanapaccha.....100	
Gráfico 14: Nieve fundida a causa del carbono negro en cada zona del glaciar Yanapaccha.....100	
Gráfico 15: Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Shallap.....101	
Gráfico 16: Nieve fundida a causa del carbono negro en cada zona del glaciar Shallap.....102	

INTRODUCCION

Las superficies brillantes como el hielo y la nieve de los glaciares tienen un albedo cercano a 1, esto favorece al reflejo de la energía solar que llega a estas superficies. La presencia de carbono negro (partículas menores a $PM_{2.5}$) en la nieve/hielo afectando su albedo, debido a que el carbono negro tiene una fuerte capacidad para absorber la energía solar; la misma energía que es transferida a la nieve/hielo en forma de calor. Para comprender este proceso se utilizó la simulación SNICAR (simula el albedo de la nieve con una cantidad de carbono negro), en esta simulación se ingresaron los valores de masa de carbono negro determinados bajo la metodología LAHM (Metodología de Absorción de Luz de Calefacción) en cada filtro obtenido en base a las muestras de nieve recolectadas en los glaciares Yanapaccha y Shallap a partir del mes de octubre de 2015 a marzo de 2016 a una altitud cercana a los 5000 m.s.n.m. y desde el mes de abril hasta agosto de 2016 en la zona de acumulación (mayor a 5000 m.s.n.m.), la línea de equilibrio (promedio 4900 m.s.n.m.), y la zona de ablación (menor a 4900 m.s.n.m). Los filtros obtenidos fueron enviados a USA para su análisis a cargo del Dr. Carl Schmitt del National Center for Atmospheric Research – NCAR, quien analizó los filtros bajo la metodología LAHM y envió los resultados de masas obtenidas de carbono negro en nano-gramos por gramo de nieve, además se utilizó datos de radiación solar obtenidos en dos estaciones meteorológicas ubicadas en los glaciares Shallap y Artesonraju (para el glaciar Yanapaccha), de propiedad de la Universidad de Innsbruck, y están a cargo del Dr. Georg Kaser, quien en mutuo acuerdo con el Dr. Carl S. compartieron los datos para realizar investigaciones. La mayor cantidad de carbono negro se presenta en el glaciar Shallap durante la mayoría de los meses muestreados en comparación al glaciar Yanapaccha, además los valores de carbono negro son mayores a partir de enero de 2016 para ambos glaciares; utilizando la energía solar que llega a los glaciares se estimó la cantidad de energía que absorbe el carbono negro y la cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro en ambos glaciares; debido a que el glaciar Shallap presenta mayor cantidad de carbono negro también presenta la mayor cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro, considerando que el glaciar Shallap se encuentra cerca de Huaraz, podemos afirmar que los glaciares cercanos a ciudades densamente pobladas tienen mayor cantidad de carbono negro a diferencia de los más lejanos.

1. OBJETIVO

1.1. Estimación de la nieve fundida a causa del carbono negro en los glaciares Yanapaccha y Shallap (oct – 2015 a ago – 2016).

2. TEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. Carbono Negro en Glaciares

El carbono negro produce forzamiento positivo al modificar el albedo de superficies brillantes como la nieve y el hielo. Sin contaminación, estas superficies reflejan 86% de la energía solar hacia el espacio, pero las partículas carbonosas sobre estas superficies absorben una fracción importante de esa energía y la remiten como calor. Este hecho no solo reduce la proporción de energía solar reflejada, sino que derrite el material gélido. Esta disminución en la reflectividad genera un círculo de retroalimentación que induce más calentamiento y derretimiento (ICCT, 2009).

El efecto del hollín sobre el albedo de la nieve podría ser el responsable de una cuarta parte del calentamiento global que se observa. Los depósitos de hollín incrementan el descongelamiento de la superficie de masas de hielo, y el hielo descongelado genera varios procesos de retroalimentación dinámicos radiativos que aceleran la desintegración del hielo, según los doctores James Hansen y Larissa Nazarenko, científicos de la NASA (J. Hansen & L. Nazarenko, 2004).

El carbono negro influye en la absorción de la luz del sol cuando se suspende en la atmósfera o cuando se deposita sobre la superficie de los glaciares. La energía absorbida por el carbono negro se libera en forma de calor y contribuye al calentamiento atmosférico y el derretimiento acelerado del hielo y la nieve, además a la formación de nubes y la evaporación, y los patrones de precipitación. (USEPA, 2012)

Cerca del 70% de las superficies glaciares de los Andes tropicales se encuentran en Perú y la mayor parte (35%) se encuentran en la Cordillera Blanca. Debido a su ubicación en el entorno tropical sur, la ablación de estos glaciares (perdidas de masa por derretimiento del hielo y sublimación) ocurre durante todo el año, mientras que se alimentan de nevadas solo durante la estación húmeda. Aunque el retroceso de los glaciares de los Andes tropicales comenzó hace siglos, en los años setenta se ha incrementado significativamente (Rabatel et al., 2013).

3. GLACIARES DE ESTUDIO

3.1. Acceso al glaciar Yanapaccha

Desde la ciudad de Huaraz, se puede abordar unidades de transporte público que cubren la ruta Huaraz – Caraz, estas unidades nos llevarán hasta la ciudad de Yungay en una hora de recorrido; desde aquí haremos transbordo en autos “combis” colectivos que seguirán por la carretera afirmada que desde Yungay se adentra a los pueblos como Yanama, San Luis, etc. Estos colectivos nos llevarán hasta el Km 42 de la ruta en promedio en 2 horas y 30 minutos, a partir del cual se recorre un sendero con dirección al Noreste, este recorrido toma 2 horas hasta el campo morrena, desde este punto se cubre un sendero de 15 minutos hasta el glaciar.

La ruta de acceso al glaciar Yanapaccha puede resumirse de la siguiente forma:

En Vehículo motorizado

- Huaraz – Yungay (carretera asfaltada) 54km
- Yungay – Km 42 (carretera afirmada) 42km

Por camino de herradura

Desde el Km 42 de la ruta a los pueblo de Yanama, se recorre un sendero de 2.75 km aproximadamente hasta el glaciar, esto se cubre en 2 horas 45 minutos. Para el ascenso al glaciar, desde el campamento morrena atravesar a la derecha rodeando la base del macizo rocoso, el glaciar presenta pendientes de 45 grados, así mismo presenta grietas que hay que ir esquivando.



Fotografía 01. Vista del glaciar Yanapaccha.

3.2. Acceso al glaciar Shallap

El acceso desde Huaraz, se efectúa utilizando la vía carrozable hacia Jancu, hasta la misma portada de la quebrada Shallap (1 hora), pasando por pequeños pueblos como Ichoca y Coyllur. De Jancu a la laguna (Shallap), existe un camino de herradura que toma aproximadamente tres horas de recorrido a pie. De la laguna Shallap al glaciar, existe un camino de herradura de difícil acceso por su elevada pendiente que toma dos horas de recorrido a pie.



Fotografía 02. Vista del glaciar Shallap.

4. ANÁLISIS DE FILTROS BAJO EL MÉTODO LAHM

Estos datos fueron proporcionados por el Dr. Carl G. Schmitt del National Center for Atmospheric Research (NCAR) y del programa American Climber Science Program (ACSP), quien analizó los filtros bajo la metodología LAHM (Método de Absorción de Luz de Calefacción). Esta técnica consiste en el análisis mediante un instrumento experimental donde se evalúa la absorción de la radiación solar en el rango de longitud de onda visible por las partículas de carbono negro en el filtro. Registrando un aumento de temperatura en los filtros después de 10 segundos de exposición a la luz visible se utiliza una ecuación de ajuste para determinar la masa de carbono negro presente en el filtro.



Fotografía 03. Diseño experimental de equipo de medición.

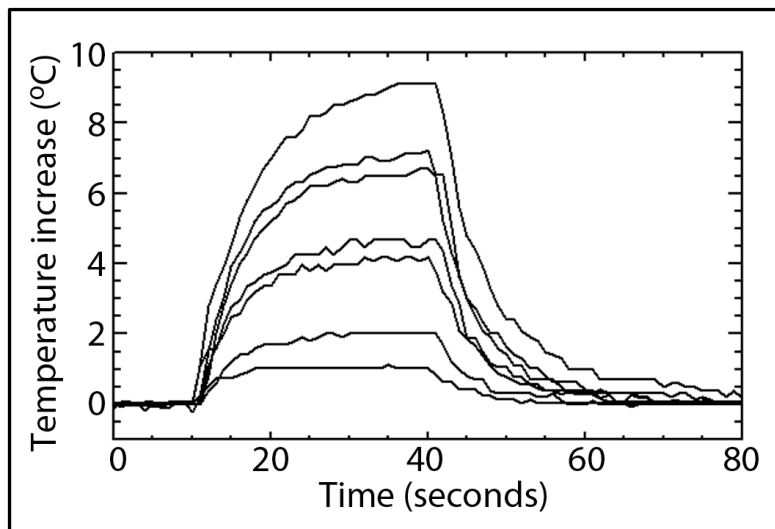


Figura 01: Perfiles de Temperatura para siete filtros.

4.1. Resultados de análisis de filtros

Mediante el análisis de los filtros bajo la metodología de absorción de luz de calefacción (LAHM), se obtuvo los siguientes resultados de masas de carbono negro determinado en cada filtro para ambos glaciares de estudio. La unidad de masa para el carbono negro es “nano-gramos de carbono negro por gramo de nieve”, a continuación se detallan los resultados:

4.1.1. Glaciar Yanapaccha

Una muestra de nieve se recolectó en el glaciar Yanapaccha desde el mes de octubre de 2015 a una altitud cercana a los 5000 m.s.n.m., a partir del mes de abril de 2016 se recolectaron muestras de nieve en cada zona del glaciar (Acumulación, Línea de equilibrio y Ablación).

Masas de carbono negro en el glaciar Yanapaccha		
Mes/Año	Carbono Negro (BC)	
Oct-2015	10.66 ng/g	
Nov-2015	11.62 ng/g	
Dic-2015	18.51 ng/g	
Ene-2016	205.19 ng/g	
Feb-2016	497.55 ng/g	
Mar-2016	280.01 ng/g	
Abr-2016	Zona	Acumulación = 95.81 ng/g
		Línea de Equilibrio = 117.77 ng/g
		Ablación = 398.42 ng/g
May-2016	Zona	Acumulación = 135.68 ng/g
		Línea de Equilibrio = 565.334 ng/g
		Ablación = 814.51 ng/g
Jun-2016	Zona	Acumulación = 161.59 ng/g
		Línea de Equilibrio = 171.24 ng/g
		Ablación = 122.12 ng/g
Jul-2016	Zona	Acumulación = 198.58 ng/g
		Línea de Equilibrio = 224.39 ng/g
		Ablación = 356.13 ng/g

Tabla 01: Carbono Negro presente en nieve del glaciar Yanapaccha.

La unidad de masa del carbono negro está determinado en nano-gramos de carbono negro por gramo de nieve (ng/g).

4.1.2. Glaciar Shallap

Una muestra de nieve se recolectó en el glaciar Shallap desde el mes de octubre de 2015 a una altitud cercana a los 5000 m.s.n.m., a partir del mes de abril de 2016 se recolectaron muestras de nieve en cada zona del glaciar (Acumulación, Línea de equilibrio y Ablación).

Masas de carbono negro en el glaciar Shallap		
Mes/Año	Carbono Negro (BC)	
Oct-2015	350.22 ng/g	
Nov-2015	205.74 ng/g	
Dic-2015	61.36 ng/g	
Ene-2016	393.32 ng/g	
Feb-2016	425.30 ng/g	
Mar-2016	381.01 ng/g	
Abr-2016	Zona	Acumulación = 172.40 ng/g
		Línea de Equilibrio = 257.36 ng/g
		Ablación = 711.01 ng/g
May-2016	Zona	Acumulación = 711.01 ng/g
		Línea de Equilibrio = 283.23 ng/g
		Ablación = 1047.07 ng/g
Jun-2016	Zona	Acumulación = 1583.29 ng/g
		Línea de Equilibrio = 263.20 ng/g
		Ablación = 514.13 ng/g
Jul-2016	Zona	Acumulación = 1005.05 ng/g
		Línea de Equilibrio = 431.41 ng/g
		Ablación = 653.18 ng/g
Ago-2016	Zona	Acumulación = 363.05 ng/g
		Línea de Equilibrio = 633.97 ng/g
		Ablación = 750.84 ng/g

Tabla 02: Carbono Negro presente en nieve del glaciar Shallap.

La unidad de masa del carbono negro está determinado en nano-gramos de carbono negro por gramo de nieve (ng/g).

5. PROCEDIMIENTO DE GABINETE

5.1. Ordenamiento de Datos de Carbono Negro

En esta etapa se ordenaron los valores de carbono negro según los meses de muestreo en cada uno de los glaciares.

GLACIAR YANAPACCHA					
Año	Muestra de Mes	Fecha de Expedición	Hora de Muestreo	Carbono Negro (BC)	Unidad
2015	Oct	09 – 10 Nov	11:00 am	10.66	ng/g
2015	Nov	04 – 05 Dic	08:45 am	11.62	ng/g
2015	Dic	30 – 31 Dic	09:00 am	18.51	ng/g
2016	Ene	28 – 29 Ene	08:45 am	205.19	ng/g
2016	Feb	27 – 28 Feb	08:00 am	497.55	ng/g
2016	Mar	26 – 27 Mar	08:00 am	280.01	ng/g

2016	Abr	01 – May	12:40 pm	95.81	ng/g
			13:10 pm	117.77	
			14:00 pm	398.42	
2016	May	04-Jun	12:33 pm	135.68	ng/g
			12:57 pm	565.33	
			13:33 pm	814.51	
2016	Jun	28 – 29 Jun	11:40 am	161.59	ng/g
			12:06 pm	171.24	
			12:20 pm	122.12	
2016	Jul	27 – 28 Jul	11:20 am	198.58	ng/g
			11:45 am	224.39	
			12:15 pm	356.13	

Tabla 03: Datos ordenados para el glaciar Yanapaccha.

GLACIAR SHALLAP					
Año	Muestra de Mes	Fecha de Expedición	Hora de Muestreo	Carbono Negro (BC)	Unidad
2015	Oct	31 – 01 Nov	08:20 am	350.22	ng/g
2015	Nov	11 – 12 Dic	08:30 am	205.74	ng/g
2015	Dic	27 – 28 Dic	08:30 am	61.36	ng/g
2016	Ene	23 – 24 Ene	08:20 am	393.32	ng/g
2016	Feb	25 – 26 Feb	10:00 am	425.30	ng/g
2016	Mar	23 – 24 Mar	10:00 am	381.01	ng/g
2016	Abr	27 – 28 Abr	16:00 pm	172.40	ng/g
			16:40 pm	257.36	
			17:20 pm	711.01	
2016	May	28 - 29 May	16:00 pm	283.23	ng/g
			16:30 pm	1047.07	
			16:50 pm	1583.29	
2016	Jun	23 – 24 Jun	08:20 am	263.20	ng/g
			08:40 am	514.13	
			09:10 am	1005.05	

2016	Jul	30 – 31 Jul	08:30 am	403.64	ng/g
			09:00 am	431.41	
			09:25 am	653.18	
2016	Ago	27 – 28 Ago	10:28 am	363.05	ng/g
			10:50 am	633.98	
			11:20 am	750.84	

Tabla 04: Datos ordenados para el glaciar Shallap.

5.2. Obtención y Tratamiento de Datos de Radiación Solar

Los datos de radiación solar directa se obtuvieron de estaciones meteorológicas ubicadas en la morrena de los glaciares Shallap y Artesonraju. Estas estaciones pertenecen a la Universidad de Innsbruck y están a cargo del Dr. Georg Kaser. El Dr. G. Kaser y el Dr. Carl Schmitt (NCAR – ACSP), coordinaron compartir datos meteorológicos para realizar investigaciones relacionadas a los glaciares y montaña. Estos datos tienen mayor representatividad con los glaciares en estudio, ya que están ubicados en cercanías de los glaciares (Shallap y Artesonraju), para el glaciar Yanapaccha se utilizará los datos del glaciar Artesonraju por su similitud de ubicación geográfica y por la cercanía entre ambos glaciares. Estos datos se obtuvieron en bruto (sin procesar) para su procesamiento, los valores de radiación solar en ambas estaciones meteorológicas se registran a cada 30 min, se obtuvo la energía (radiación solar) que llega sobre la estación meteorológica en 60 min, de esta manera se ordenó los valores de energía por hora para cada día de los meses descritos, la unidad de radiación solar es vatios por metro cuadrado (W/m^2).

Para el glaciar Shallap: Hasta el mes de agosto de 2016.

Para el glaciar Artesonraju: Hasta el mes de julio de 2016.

A continuación se describe el tratamiento que se realizó con los datos de radiación solar:

- Preparar un archivo Excel para ordenar los datos según mes y estación meteorológica.
- Realizar la sumatoria horaria de radiación solar para cada día de los meses.
- Realizar la sumatoria total de radiación solar (energía) para cada mes de estudio, obteniendo la energía total que llega a cada glaciar.

5.2.1. Datos de radicación solar de la estación meteorológica en el glaciar Shallap

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
01-oct	-	-	-	-	-	14.19067	48.77068	719.2681	1426.9918	1894.8567	2219.146	2530.928	981.5077	916.6653	1273.4497	1008.23	717.9471	66.040482	-	-	-	-	-	-	
02-oct	-	-	-	-	-	10.1354	29.66574	773.8558	1461.9986	1948.9896	2265.379	2090.0778	1820.7158	1428.9101	819.4185	1243.0692	613.6663	246.02375	-	-	-	-	-	-	
03-oct	-	-	-	-	-	8.981311	27.494821	826.8453	1491.6586	1958.4321	2338.12	2549.745	1850.2597	2159.0408	1096.7754	607.2579	394.5305	94.43481	-	-	-	-	-	-	
04-oct	-	-	-	-	-	7.096691	30.630671	97.05265	338.8812	922.7375	704.3982	967.1805	752.7688	1077.2171	1489.3185	745.5418	651.8046	287.7314	-	-	-	-	-	-	
05-oct	-	-	-	-	-	5.259496	32.744396	227.20726	637.6321	1480.8522	1466.4035	2243.6318	1561.0139	373.7999	546.3823	376.9533	182.31951	98.95782	2.487905	-	-	-	-	-	
06-oct	-	-	-	-	-	26.233252	80.57977	287.3397	512.86	720.3356	869.9444	1518.8301	1226.4485	1538.8665	604.1811	687.3883	210.44191	119.92842	-	-	-	-	-	-	
07-oct	-	-	-	-	-	14.84331	40.25476	775.2668	1498.2245	1967.9845	2351.595	2439.526	1936.1343	2291.605	779.4729	377.9284	388.4843	10.78045	-	-	-	-	-	-	
08-oct	-	-	-	-	-	12.4185	99.07918	927.6159	1491.4599	1994.3742	2394.208	2496.442	1552.6653	2229.086	1164.8133	609.3748	250.79079	12.36838	-	-	-	-	-	-	
09-oct	-	-	-	-	-	14.95821	117.12471	757.7078	1166.6243	1800.221	2169.976	2342.141	2160.7874	1358.249	936.0767	705.3227	223.166194	22.496593	-	-	-	-	-	-	
10-oct	-	-	-	-	-	11.83524	128.86654	950.6706	1529.7343	2000.9594	2334.183	2610.681	2432.835	1670.9005	1731.5358	591.6636	187.32071	89.07096	-	-	-	-	-	-	
11-oct	-	-	-	-	-	23.51571	62.58497	208.13987	1060.3388	1267.3502	2076.639	1638.4622	1571.027	866.5536	1331.2855	582.0371	47.89483	12.82084	-	-	-	-	-	-	
12-oct	-	-	-	-	-	24.852578	53.48802	162.50925	452.1053	988.0839	1691.4174	1720.1562	2001.8239	1970.845	393.29883	563.9321	217.91307	110.90242	-	-	-	-	-	-	
13-oct	-	-	-	-	-	12.71929	143.81469	946.1045	1510.4841	1964.4841	2274.655	2431.892	2061.667	1879.9767	1668.4275	1246.0678	698.9321	247.72022	-	-	-	-	-	-	
14-oct	-	-	-	-	-	13.03721	152.86991	940.5949	1511.024	1960.2187	2275.991	2399.577	2376.001	2178.23	1527.473	589.5295	57.87305	13.551708	-	-	-	-	-	-	
15-oct	-	-	-	-	-	29.993464	114.6065	498.4498	774.2574	1729.2379	1748.8462	1914.6362	1827.2652	1466.9889	691.5737	503.2175	205.1344	34.971623	-	-	-	-	-	-	
16-oct	-	-	-	-	-	56.139609	140.52309	444.6824	810.8828	1065.3238	1010.9698	795.4788	1267.8069	2055.63	1281.3624	348.9401	233.0076	150.6966	-	-	-	-	-	-	
17-oct	-	-	-	-	-	21.1595	52.95272	169.262	378.1965	991.9985	1577.2998	1616.9159	1217.8825	1357.829	730.8146	516.5727	944.2278	287.28505	-	-	-	-	-	-	
18-oct	-	-	-	-	-	63.682438	135.39669	622.1972	1500.2204	2034.5706	2419.22	2554.803	2598.86	1898.774	1050.8168	1412.6933	639.1164	219.53263	-	-	-	-	-	-	
19-oct	-	-	-	-	-	53.663884	180.09895	556.799	1470.282	2011.9436	2418.47	2537.782	2132.2237	808.5135	466.1734	300.98605	50.48085	14.378698	-	-	-	-	-	-	
20-oct	-	-	-	-	-	25.477998	89.23154	458.1154	1568.4348	2193.121	2591.831	2096.598	1201.8533	559.6036	511.3143	479.9388	16.340561	101.29039	11.21787	-	-	-	-	-	
21-oct	-	-	-	-	-	21.901298	170.35415	1004.5594	1329.4055	1486.2817	1914.1091	2548.46	1419.914	1350.9234	1659.2953	765.4464	103.81428	3.850227	-	-	-	-	-	-	
22-oct	-	-	-	-	-	29.650259	116.50843	361.5081	697.5656	1592.1238	2042.7516	1743.2706	1559.1353	1438.1479	1520.8442	908.27	261.54808	22.25273	-	-	-	-	-	-	
23-oct	-	-	-	-	-	24.932878	89.3289	238.1184	472.8148	945.2726	1274.1892	1353.6306	1273.1069	1843.1965	1086.273	582.7844	470.50337	33.9688	-	-	-	-	-	-	
24-oct	-	-	-	-	-	10.19596	82.60245	132.45182	481.6249	2220.197	2222.26	1449.7384	2097.9966	1325.5018	933.3669	331.7855	186.7465	54.86424	-	-	-	-	-	-	
25-oct	-	-	-	-	-	31.471613	85.15506	438.8309	331.98149	208.88598	945.7101	2374.029	1823.3782	620.3872	364.09385	33.82463	35.547884	1.791112	-	-	-	-	-	-	
26-oct	-	-	-	-	-	10.861171	45.32649	365.2957	959.9959	1505.7527	1430.0247	1742.8191	2281.055	1487.4732	325.4792	162.15329	80.1614	20.706967	-	-	-	-	-	-	
27-oct	-	-	-	-	-	12.69012	28.06456	301.9737	613.252	722.5123	673.2675	955.237	1507.6927	1323.713	1637.7512	614.0744	329.9133	37.731437	-	-	-	-	-	-	
28-oct	-	-	-	-	-	70.79046	190.83866	951.2966	1367.8928	960.2717	1941.9637	2386.802	1310.3509	1221.5283	806.0658	213.58735	91.738808	2.559361	-	-	-	-	-	-	
29-oct	-	-	-	-	-	50.105176	158.43766	956.3624	1575.9934	2008.5394	2538.194	2077.8348	1400.5169	316.09475	35.21583	38.79915	34.12689	14.201866	-	-	-	-	-	-	
30-oct	-	-	-	-	-	9.298649	75.270029	320.9731	1228.2773	1533.0487	2291.594	1898.5347	1786.0732	1939.7763	324.31602	33.578157	75.23934	69.77578	3.236225	-	-	-	-	-	
31-oct	-	-	-	-	-	18.148371	140.96954	978.5126	1541.6612	2002.5642	2075.7612	2501.635	1280.033	854.0216	714.5173	429.1966	46.01951	78.75019	1.612087	-	-	-	-	-	
SUMA	-	-	-	-	-	740.239716	2943.63428	17399.567	33192.7563	48081.5252	58548.5174	62527.4757	52270.7996	43808.0485	29501.1828	17610.1448	8646.75194	2581.43595	18.554087	-	-	-	-	-	
																			Energía Total (W/m2)					377870.6332	

Tabla 05: Datos de radiación solar directa para el mes de octubre 2015 en el glaciar Shallap.

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00		
01-nov	-	-	-	-	-	63.488285	203.46731	585.7348	1240.6855	1523.1804	2009.2211	2451.424	2426.84	2296.535	1651.6018	1364.4977	857.24	188.48393	-	-	-	-	-	-		
02-nov	-	-	-	-	-	62.667463	176.61536	722.4284	1233.5268	1706.3684	2051.262	2314.246	2366.786	1914.7648	1630.6846	1244.747	593.3133	209.80627	1.565522	-	-	-	-	-		
03-nov	-	-	-	-	-	51.794201	170.74205	664.4466	1202.062	1923.3048	1931.9253	2088.7092	2004.9536	1739.1466	1609.4935	1094.8696	568.2285	151.47431	-	-	-	-	-	-		
04-nov	-	-	-	-	-	67.873618	175.02208	599.9788	1480.3726	1596.2095	2235.383	2121.8869	2205.619	1844.8699	1820.9403	1079.9247	826.1287	286.43794	-	-	-	-	-	-		
05-nov	-	-	-	-	-	51.1503	183.56141	867.8968	1387.3996	1572.7955	1020.1399	1459.4692	1496.5603	1378.0821	797.3385	417.44831	100.27142	53.790847	-	-	-	-	-	-		
06-nov	-	-	-	-	-	13.457004	70.40422	356.6152	821.3283	1189.6244	582.8687	778.5753	338.6745	411.6247	371.1447	195.56253	48.47825	10.099237	-	-	-	-	-	-		
07-nov	-	-	-	-	-	8.583388	43.982068	268.4949	1665.7112	1726.4931	731.8029	415.2204	1236.6139	914.9586	274.51776	65.11039	11.486187	8.164982	-	-	-	-	-	-		
08-nov	-	-	-	-	-	41.052225	108.77869	417.4922	898.8898	658.0958	496.5052	730.4746	934.5312	652.4619	285.9348	310.7225	155.90555	12.970543	-	-	-	-	-	-		
09-nov	-	-	-	-	-	10.87563	38.12894	114.77624	197.55027	459.1434	737.5694	726.2336	843.3026	860.8488	1091.5444	699.67977	206.69357	162.30812	-	-	-	-	-	-		
10-nov	-	-	-	-	-	10.87563	38.12894	114.77624	197.55027	459.1434	737.5694	726.2336	843.3026	860.8488	1091.5444	699.67977	206.69357	162.30812	-	-	-	-	-	-		
11-nov	-	-	-	-	-	33.044572	112.3555	438.9437	930.489	1659.3234	1875.3388	2057.3352	1917.7213	2250.2998	2065.708	571.1322	108.39299	21.769016	-	-	-	-	-	-		
12-nov	-	-	-	-	-	41.841303	144.35446	351.2316	578.7867	597.8696	713.8435	758.1286	1038.8174	1278.1147	1355.4494	876.7994	124.78998	14.319827	-	-	-	-	-	-		
13-nov	-	-	-	-	-	65.063198	177.13637	690.8314	1634.5938	1620.5578	833.2905	1150.5731	1497.553	1622.317	815.1145	1299.3805	203.28778	61.6974	2.154838	-	-	-	-	-		
14-nov	-	-	-	-	-	13.48329	39.78925	283.49482	965.225	1495.4107	988.3833	2588.486	2486.278	1902.455	904.3955	395.53951	73.59176	22.598049	-	-	-	-	-	-		
15-nov	-	-	-	-	-	50.175698	157.05064	479.6337	1065.2875	1367.2825	1783.6777	2085.7794	2785.825	1731.8313	1459.3809	524.8088	100.02366	24.606462	-	-	-	-	-	-		
16-nov	-	-	-	-	-	57.38479	144.43671	432.3516	541.6792	1259.0207	1811.8126	2614.307	1750.9834	807.2493	1217.2338	176.71586	81.11758	30.564837	-	-	-	-	-	-		
17-nov	-	-	-	-	-	23.554357	70.87502	1061.786	1339.7066	884.2055	2359.333	2295.5711	757.94	544.616	380.437	66.07922	65.68761	19.212943	-	-	-	-	-	-		
18-nov	-	-	-	-	-	14.07893	36.52514	219.56301	880.3645	2268.676	2614.443	2501.845	967.0278	950.2792	1619.1842	341.0219	25.52518	12.91835	-	-	-	-	-	-		
19-nov	-	-	-	-	-	12.41847	54.88101	1096.7139	1558.2914	2001.294	2390.523	1844.669	1221.7934	967.7757	925.5172	740.5833	70.85785	21.90303	2.604805	-	-	-	-	-		
20-nov	-	-	-	-	-	35.425343	81.13279	464.4061	521.7064	1189.5543	996.7625	1225.0242	1430.5168	1279.836	1793.4425	309.55492	76.60803	74.07348	2.589086	-	-	-	-	-		
21-nov	-	-	-	-	-	30.442779	57.18534	103.74812	223.12341	587.6311	715.9481	1145.8006	1624.8483	973.8801	1631.0834	743.9389	498.6854	188.32973	1.434553	-	-	-	-	-		
22-nov	-	-	-	-	-	7.020526	16.41609	64.89695	259.514	441.4347	709.6742	981.7888	619.6804	812.8068	836.6239	533.2277	429.8884	140.55946	1.961009	-	-	-	-	-		
23-nov	-	-	-	-	-	21.189113	62.5382	156.08305	348.4631	485.6972	554.3074	667.1003	633.6791	349.5859	578.2768	569.8311	157.59247	164.65899	8.5609	-	-	-	-	-		
24-nov	-	-	-	-	-	30.521819	106.09508	292.8788	448.1943	661.824	923.0685	1044.2235	1646.0914	1023.2582	1607.4096	837.2526	505.0329	247.49141	-	-	-	-	-	-		
25-nov	-	-	-	-	-	16.912189	38.88462	975.5381	1216.6943	759.2571	1066.288	1790.9309	1473.7606	511.2302	400.9641	242.07932	255.7063	19.14757	-	-	-	-	-	-		
26-nov	-	-	-	-	-	39.706175	107.59531	301.3965	884.6388	1410.7468	1958.286	2023.0424	1541.8529	1226.509	1026.3581	151.95396	132.66682	34.40142	2.615023	-	-	-	-	-		
27-nov	-	-	-	-	-	18.591976	59.90663	434.1396	583.4611	876.6533	1340.9737	1173.4209	1459.7454	469.6141	393.6941	532.5376	118.5809	5.37478	-	-	-	-	-	-		
28-nov	-	-	-	-	-	27.971732	55.49391	813.9476	898.5184	823.1684	1497.0631	2332.657	1257.13	500.467	397.8329	855.1369	231.32318	24.986189	-	-	-	-	-	-		
29-nov	-	-	-	-	-	54.347406	103.29504	697.7925	1279.0608	1113.7534	976.3311	1007.918	471.315	787.6099	1497.8729	915.3753	163.02332	46.32662	5.198878	-	-	-	-	-		
30-nov	-	-	-	-	-	47.636907	100.62129	920.0116	1551.7923	2040.149	2385.407	1845.4774	585.1326	454.1639	775.4271	467.4075	25.457141	17.1015	1.518253	-	-	-	-	-		
SUMA	-	-	-	-	-	1022.62832	2935.39947	14992.0288	28034.667	36357.8682	41029.0019	46946.5512	41864.8755	33318.0403	32306.1507	18322.5988	7022.2783	2437.88536	30.202867	-	-	-	-	-		
																		Energía Total (W/m2)			306620.1766					

Tabla 06: Datos de radiación solar directa para el mes de noviembre 2015 en el glaciar Shallap.

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
01-dic	-	-	-	-	-	3.901698	9.576637	39.09712	54.79812	261.5593	346.2354	1655.5874	1484.2765	1512.0959	508.425	288.1493	368.6405	83.00756	2.69873	-	-	-	-	-
02-dic	-	-	-	-	-	19.920835	50.26224	263.1983	492.3933	699.8298	795.4196	649.5327	720.4587	757.7835	1114.0008	1183.5458	154.45806	91.66778	1.345445	-	-	-	-	-
03-dic	-	-	-	-	-	61.514119	111.12248	914.0718	1515.7311	1996.2496	1684.9117	1911.3439	2218.2954	2116.27	393.71537	229.03735	109.17235	6.272809	-	-	-	-	-	-
04-dic	-	-	-	-	-	11.92311	34.04854	1007.9521	1526.1122	1973.7349	2356.94	2746.021	1757.6841	402.2706	592.374	332.8276	153.10218	21.583358	1.804515	-	-	-	-	-
05-dic	-	-	-	-	-	15.214472	33.35467	950.8109	1485.9847	1949.1221	2439.187	1588.8516	2063.5045	945.9298	44.74853	122.00726	821.8564	153.84264	2.988545	-	-	-	-	-
06-dic	-	-	-	-	-	53.208445	87.11529	893.0353	1305.7377	1890.1167	2280.447	2615.463	2757.296	1271.7864	1865.3121	1041.5965	394.432	400.3789	48.12292	-	-	-	-	-
07-dic	-	-	-	-	-	15.08848	37.26597	884.5042	1506.1765	1952.2265	2273.563	2361.598	1591.8605	1250.6342	1069.0175	840.0339	471.508	343.8149	21.92902	-	-	-	-	-
08-dic	-	-	-	-	-	22.648365	45.78419	852.2851	496.1101	694.9356	1346.5786	999.1362	1260.5205	1384.4125	868.5011	647.7535	572.4918	152.68898	3.326195	-	-	-	-	-
09-dic	-	-	-	-	-	21.32888	69.01969	177.284	486.0243	913.4736	1376.2345	1601.6101	1764.4668	1708.6946	1753.175	843.143	665.7879	152.50911	1.274066	-	-	-	-	-
10-dic	-	-	-	-	-	12.888485	45.53923	226.5657	470.089	1078.029	1159.3743	1993.2685	2194.87	1545.8247	2181.058	996.1812	425.9132	209.419	20.64925	-	-	-	-	-
11-dic	-	-	-	-	-	13.633597	30.80306	833.3353	1494.3141	1969.2874	2363.13	2463.516	1818.2337	2308.789	1920.417	1141.3991	107.65357	47.00912	2.66507	-	-	-	-	-
12-dic	-	-	-	-	-	19.411119	60.87811	169.18898	388.6815	655.6162	1046.2966	1569.7831	2057.5271	2093.182	1650.5851	855.4599	482.4508	409.4296	27.5212	-	-	-	-	-
13-dic	-	-	-	-	-	21.945626	60.50361	146.51666	839.1721	1980.0196	2342.827	2546.232	1818.6717	1910.0187	1359.5353	1345.0121	466.9185	31.373037	3.059152	-	-	-	-	-
14-dic	-	-	-	-	-	15.30595	41.53089	225.4718	298.7843	357.0146	327.3576	165.91295	1755.3763	1711.4307	407.9308	261.23563	179.9005	50.71332	-	-	-	-	-	-
15-dic	-	-	-	-	-	17.556352	61.69252	563.314	465.6966	569.8136	651.01	1278.2147	2106.0793	1352.8853	784.60873	294.86452	157.11027	78.18963	1.167139	-	-	-	-	-
16-dic	-	-	-	-	-	11.054098	33.217765	124.127	395.7682	514.6623	770.7865	1081.5363	1054.2284	707.6428	1909.0672	406.5316	465.5852	160.06822	23.37481	-	-	-	-	-
17-dic	-	-	-	-	-	41.903666	145.76794	138.77568	412.4662	375.6544	420.1357	821.0059	1795.0887	1966.3947	1727.1577	607.012	308.55982	18.203954	1.464052	-	-	-	-	-
18-dic	-	-	-	-	-	23.013294	57.12822	638.9371	572.3417	780.4418	683.6226	1160.1921	1486.5565	1480.4121	2116.6173	557.3904	229.8548	27.30954	3.765618	-	-	-	-	-
19-dic	-	-	-	-	-	29.728083	94.32315	472.4802	721.3861	900.2605	1693.603	2445.782	2650.335	1633.7508	773.5181	325.08329	40.71974	29.25049	6.598809	-	-	-	-	-
20-dic	-	-	-	-	-	26.456354	73.05134	250.6392	436.7451	942.408	1972.5935	1930.5804	1409.4675	984.1955	1040.8133	388.8365	213.23525	123.96774	10.00813	-	-	-	-	-
21-dic	-	-	-	-	-	15.324386	37.12682	467.02461	913.9364	540.7042	1353.8424	1092.2067	1369.7688	1303.0827	1782.049	1089.6651	726.1779	328.95237	5.254972	-	-	-	-	-
22-dic	-	-	-	-	-	15.077431	39.95692	439.8741	1447.3005	762.0586	1418.2552	1875.487	2007.752	1398.5301	250.8074	488.83261	60.61708	15.560593	5.552897	-	-	-	-	-
23-dic	-	-	-	-	-	31.74315	106.92005	372.7817	1189.5777	2055.4395	2025.128	988.0581	1246.4912	1107.8706	456.3365	289.16231	243.14155	23.073588	4.112716	-	-	-	-	-
24-dic	-	-	-	-	-	2.834941	8.777686	53.67286	140.81091	303.0086	1394.3658	2306.228	1902.4583	629.2277	1164.698	840.078	349.7406	30.32325	2.293273	-	-	-	-	-
25-dic	-	-	-	-	-	15.162192	34.11278	163.5555	437.2178	570.6546	1066.4758	1280.0781	1308.1651	895.6195	1225.4579	689.1533	590.1124	129.0022	15.35734	-	-	-	-	-
26-dic	-	-	-	-	-	7.84592	53.05268	216.72004	476.827	741.1287	842.8039	1519.3629	1404.4736	1369.5836	424.2026	712.2191	180.07566	148.70634	8.45307	-	-	-	-	-
27-dic	-	-	-	-	-	28.197388	75.89061	259.40083	498.7743	627.0238	1038.2324	1030.2608	1971.5048	1198.217	814.6814	1793.9168	276.06894	151.44555	4.18377	-	-	-	-	-
28-dic	-	-	-	-	-	8.338265	48.415085	194.56063	605.4528	1424.5865	1606.6798	1432.5307	2188.8662	2018.806	852.6125	526.0169	172.92554	70.94801	7.146052	-	-	-	-	-
29-dic	-	-	-	-	-	18.23055	43.3647	533.3283	754.4523	470.2375	1432.9721	1810.5463	1539.1079	429.2923	1607.688	579.1581	179.67393	6.022787	-	-	-	-	-	-
30-dic	-	-	-	-	-	9.673247	31.131977	362.189	1221.2946	1854.4936	1326.3475	1187.3842	1917.0682	2226.595	1317.0897	286.51551	39.36323	14.974219	1.143891	-	-	-	-	-
31-dic	-	-	-	-	-	21.144753	92.81765	470.6473	979.3978	2026.5887	2396.595	1454.184	1127.5098	540.8535	111.18957	282.521	200.59236	76.75794	2.690931	-	-	-	-	-
SUMA						631.217251	1753.5525	13305.3453	24029.555	33830.3798	44231.9515	49561.4947	53747.9631	42162.0818	34087.3905	20284.3392	9807.84003	3586.46654	239.951578					
																				Energía Total (W/m2)		331259.5288		

Tabla 07: Datos de radiación solar directa para el mes de diciembre 2015 en el glaciar Shallap.

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
01-abr	-	-	-	-	-	2.126181	24.138941	286.2746	1086.927	1555.591	458.5914	518.0345	1250.3985	973.7226	422.9111	571.2682	156.27152	31.865842	-	-	-	-	-	-	
02-abr	-	-	-	-	-	3.121731	63.977681	273.7299	295.5601	521.9739	875.7606	1695.71	1317.5027	1522.6116	554.5625	1059.1529	466.5235	96.11137	-	-	-	-	-	-	
03-abr	-	-	-	-	-	3.126882	26.815452	167.56167	186.97681	390.0812	616.6772	1237.3111	814.3234	1604.9568	915.2978	866.9831	374.9948	92.56428	-	-	-	-	-	-	
04-abr	-	-	-	-	-	3.234758	22.664278	431.64822	1338.0687	1295.0353	711.6567	997.3558	2194.4473	1352.1223	1055.4088	561.6534	196.62544	71.94745	-	-	-	-	-	-	
05-abr	-	-	-	-	-	4.508367	45.400347	223.79918	446.6697	614.4726	711.734	1022.2565	841.0818	1077.7603	2261.424	969.2762	222.51907	33.667883	2.176899	-	-	-	-	-	
06-abr	-	-	-	-	-	11.72131	64.43757	424.11062	1275.5287	1786.0307	1430.8067	909.7329	936.1149	504.0574	593.6621	626.1525	289.9525	90.64223	-	-	-	-	-	-	
07-abr	-	-	-	-	-	1.65454	20.70926	409.46329	1280.6641	1803.069	2201.909	2470.281	2431.397	2255.8457	2221.506	1232.6026	178.34581	49.89403	-	-	-	-	-	-	
08-abr	-	-	-	-	-	1.782999	18.454999	405.02334	1289.9744	1220.7496	1002.5906	1286.3738	1451.2328	1884.3776	1662.7439	739.2299	405.3544	19.512597	-	-	-	-	-	-	
09-abr	-	-	-	-	-	1.99277	9.592693	219.66554	1298.6275	1751.7862	2139.952	2290.269	2393.097	1725.878	1364.1887	624.8367	61.48251	43.32825	2.156201	-	-	-	-	-	
10-abr	-	-	-	-	-	10.25423	59.23677	142.58139	599.8131	1855.2168	2142.2079	2221.4492	1410.924	1136.4604	267.32335	15.899413	6.65854	6.36437	1.292652	-	-	-	-	-	
11-abr	-	-	-	-	-	1.711468	13.162638	80.10855	292.8671	709.8783	1328.0959	1126.618	615.269	526.5246	1004.135	150.4004	48.79184	126.46484	3.321155	-	-	-	-	-	
12-abr	-	-	-	-	-	4.216748	42.909458	314.9717	889.7686	1338.0844	1992.9514	2396.418	1681.7122	1491.9192	1639.0956	677.3737	525.8947	85.36943	-	-	-	-	-	-	
13-abr	-	-	-	-	-	-	14.35295	310.36661	1258.3715	1752.6737	2133.437	2384.918	2561.801	2320.103	1993.7396	1372.6647	212.31122	27.582078	-	-	-	-	-	-	
14-abr	-	-	-	-	-	-	13.10885	394.13844	1274.7639	1752.5556	2184.658	2242.152	1095.0552	1167.8524	1125.9162	465.3679	151.9673	30.824148	-	-	-	-	-	-	
15-abr	-	-	-	-	-	-	34.49549	190.22091	817.1972	1445.6533	1443.1564	1251.7945	810.0955	1351.2499	1052.7982	1221.1225	315.33752	91.67317	-	-	-	-	-	-	
16-abr	-	-	-	-	-	1.998913	26.209173	170.43623	314.0728	473.6469	619.0841	636.6565	1186.1269	1840.1866	865.9593	196.87217	145.27882	56.55674	-	-	-	-	-	-	
17-abr	-	-	-	-	-	2.843931	19.292561	75.67758	255.2857	586.6651	737.2339	624.0824	866.9011	971.5064	970.501	520.6432	247.40678	91.88451	-	-	-	-	-	-	
18-abr	-	-	-	-	-	1.845866	9.591141	84.82516	180.32477	387.1255	738.4892	757.7812	829.1172	902.307	866.7919	497.9785	249.5886	92.36663	-	-	-	-	-	-	
19-abr	-	-	-	-	-	2.387562	18.307362	434.80299	1232.3364	1759.1263	2293.519	2299.533	667.8801	1198.0636	920.4107	309.72468	84.52449	18.639686	-	-	-	-	-	-	
20-abr	-	-	-	-	-	2.218985	30.094925	523.5149	1018.816	1705.3758	1135.387	815.6031	1199.4404	1116.6881	765.5658	542.2911	280.1618	36.36059	-	-	-	-	-	-	
21-abr	-	-	-	-	-	2.284354	19.199024	475.81829	1201.5316	1689.8156	1836.6846	1779.2906	975.9528	1000.4109	981.6429	447.0287	120.97082	37.157333	-	-	-	-	-	-	
22-abr	-	-	-	-	-	3.958822	26.909782	483.50621	1210.5217	1604.2389	1252.8187	1691.4352	1927.4272	1245.0428	614.9709	418.7043	139.116	109.67768	-	-	-	-	-	-	
23-abr	-	-	-	-	-	1.135824	24.472764	476.61883	1228.124	1839.4619	1240.7436	1381.4105	1286.2497	498.0193	602.4328	53.0194	39.40149	24.356439	-	-	-	-	-	-	
24-abr	-	-	-	-	-	2.120341	25.883191	165.27465	570.1056	637.0314	862.3938	1547.7027	765.4543	776.7088	977.065	411.3181	302.3128	82.37627	-	-	-	-	-	-	
25-abr	-	-	-	-	-	2.93346	16.87069	532.1251	1218.2677	1673.1475	2005.1372	2270.299	1865.5578	1189.6314	497.9865	1110.856	61.51174	7.697969	-	-	-	-	-	-	
26-abr	-	-	-	-	-	-	13.35414	533.8409	1206.3309	1660.6669	2043.7761	2295.482	2219.537	1654.9812	1497.793	1133.5458	446.3103	88.53215	-	-	-	-	-	-	
27-abr	-	-	-	-	-	-	12.10492	531.6597	1197.508	1653.7678	2005.2858	2238.637	1524.3209	2072.0281	1353.1113	1023.3544	214.36123	74.36468	-	-	-	-	-	-	
28-abr	-	-	-	-	-	3.290448	27.049178	511.9912	1220.6914	1646.9036	1738.0295	2160.692	2196.723	2241.192	1655.7355	915.7959	324.4995	64.17003	-	-	-	-	-	-	
29-abr	-	-	-	-	-	1.045336	17.333826	545.6598	1185.7856	1659.0134	1941.6613	2116.487	2079.165	2026.5848	1705.9541	1210.8047	679.7817	91.64047	-	-	-	-	-	-	
30-abr	-	-	-	-	-	-	13.08282	527.8167	1208.2025	1672.5297	1996.0025	2165.279	2169.791	2019.5091	1658.6522	847.5481	739.2354	147.713436	-	-	-	-	-	-	
SUMA						77.515826	773.212874	10347.2322	28079.6831	40441.3679	43820.4311	48831.0455	43564.0967	41648.3019	34069.2858	20793.4692	7687.49214	1921.30658	8.946907						
																			Energía Total (W/m2)						322063.3876

Tabla 11: Datos de radiación solar directa para el mes de abril 2016 en el glaciar Shallap.

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00	
01-jul	-	-	-	-	-	-	9.516392	65.46193	809.2533	1457.1882	1795.6314	1968.0746	1987.8453	1854.2774	1552.0185	1125.3108	654.7905	133.43581	-	-	-	-	-	-	
02-jul	-	-	-	-	-	-	13.49744	234.01984	956.9482	1401.8037	1746.6576	1939.8883	1989.0404	1831.701	1529.5679	1151.8652	684.2705	132.005582	-	-	-	-	-	-	
03-jul	-	-	-	-	-	-	7.343831	225.21018	957.7342	1396.5794	1734.341	1939.3694	1973.8116	1836.174	1617.084	1157.0991	695.7936	119.037493	-	-	-	-	-	-	
04-jul	-	-	-	-	-	-	6.933228	223.43692	945.4072	1397.1476	1820.874	1042.6992	992.2109	1609.8021	1596.4062	947.3821	228.60734	82.07962	-	-	-	-	-	-	
05-jul	-	-	-	-	-	-	7.195962	227.20486	947.3612	1397.4634	1552.7384	854.5107	1419.3339	744.8304	541.0081	589.8597	213.72824	38.581799	-	-	-	-	-	-	
06-jul	-	-	-	-	-	-	5.998788	155.61821	340.4337	730.6012	639.0311	802.9933	947.9439	750.7096	873.8471	266.7292	171.33434	57.101915	-	-	-	-	-	-	
07-jul	-	-	-	-	-	-	12.06974	85.82286	369.6963	654.8555	745.3197	686.9034	998.4699	1637.8568	1435.9952	818.3823	578.1173	173.03018	-	-	-	-	-	-	
08-jul	-	-	-	-	-	-	8.154015	54.85918	651.9882	1469.1507	1708.6367	1898.2738	1894.886	1904.3569	1069.4715	281.5778	568.3455	186.4056	-	-	-	-	-	-	
09-jul	-	-	-	-	-	-	9.550009	52.39861	626.81589	1486.4974	1810.9617	2026.251	2058.326	1870.3019	675.6567	416.7113	199.47042	43.755	-	-	-	-	-	-	
10-jul	-	-	-	-	-	-	6.188986	257.16766	1010.6357	1470.0427	1806.0711	1979.7924	2002.1081	1872.2968	1507.2641	832.9609	592.2866	197.21521	-	-	-	-	-	-	
11-jul	-	-	-	-	-	-	5.88423	261.88244	1012.4855	1461.3064	1786.6578	1973.3762	1992.4117	1783.9332	1197.6385	1254.2552	719.1491	157.450561	-	-	-	-	-	-	
12-jul	-	-	-	-	-	-	6.01918	262.25219	1008.3186	1452.2776	1777.3219	1952.921	1975.3907	1840.374	1358.8463	1033.7393	263.51793	54.37686	-	-	-	-	-	-	
13-jul	-	-	-	-	-	-	5.370718	260.46131	1008.1212	1464.4152	1795.4303	1971.6612	1995.2883	1846.4386	1429.0679	471.4444	471.49603	146.97396	-	-	-	-	-	-	
14-jul	-	-	-	-	-	-	13.04226	230.03656	778.5481	1442.8717	1776.8639	1962.8054	1968.594	1423.8886	1030.6357	554.5199	289.52957	31.947892	-	-	-	-	-	-	
15-jul	-	-	-	-	-	-	8.467886	250.10213	991.0294	1472.2469	1826.4007	2046.053	2024.919	1713.0425	630.6474	881.8464	480.1501	38.860761	-	-	-	-	-	-	
16-jul	-	-	-	-	-	-	5.336993	253.79325	998.072	1449.9817	1786.0565	1952.0164	1977.7431	1642.2504	699.0953	449.2396	239.81973	90.03885	-	-	-	-	-	-	
17-jul	-	-	-	-	-	-	6.668334	60.65672	307.43894	758.114	1575.7899	1600.2096	1372.1372	1509.747	1554.8334	1246.4435	743.7543	178.71522	-	-	-	-	-	-	
18-jul	-	-	-	-	-	-	5.490065	174.002	962.8065	1452.8554	1785.5078	1949.9685	2103.354	1703.7567	1166.8386	1110.4084	332.3435	132.52041	-	-	-	-	-	-	
19-jul	-	-	-	-	-	-	5.91401	279.13742	1041.2793	1507.7488	1849.5201	2032.696	2054.039	1912.8907	1628.5878	1224.2251	738.7359	193.52921	-	-	-	-	-	-	
20-jul	-	-	-	-	-	-	6.466014	289.47333	1027.5362	1490.0176	1830.2194	2012.6875	2033.61	1892.5489	1620.058	1224.4189	735.903	194.02313	-	-	-	-	-	-	
21-jul	-	-	-	-	-	-	6.316449	308.18672	1019.4487	1479.7451	1823.7115	2008.6127	2038.321	1900.3773	1615.2009	1220.5231	711.919	175.35065	-	-	-	-	-	-	
22-jul	-	-	-	-	-	-	6.28914	316.38543	1014.8415	1487.6021	1813.2265	1998.1908	2027.409	1879.1931	1592.2778	1199.6512	711.5445	180.44649	-	-	-	-	-	-	
23-jul	-	-	-	-	-	-	7.171259	318.7134	1001.2395	1494.9509	1825.8118	2006.6966	2033.198	1896.0877	1619.2707	1207.5211	724.7976	184.25451	-	-	-	-	-	-	
24-jul	-	-	-	-	-	-	6.064229	326.7792	1000.2761	1470.8687	1794.9858	1963.2879	1983.1001	1840.8145	1583.0471	1186.7932	614.6704	102.74452	-	-	-	-	-	-	
25-jul	-	-	-	-	-	-	7.964846	324.48022	988.8729	1458.7367	1788.512	1960.2594	1983.1657	1527.7645	519.7794	849.1275	784.6876	220.92591	-	-	-	-	-	-	
26-jul	-	-	-	-	-	-	8.511913	225.0777	967.5215	1462.5698	1804.3477	1989.0364	2043.172	1874.0378	1614.9802	1130.6358	754.0509	187.9652	-	-	-	-	-	-	
27-jul	-	-	-	-	-	-	6.778388	354.56816	1035.3147	1497.4879	1843.1862	2024.2494	2036.01	1900.0596	1371.7694	864.2606	700.1042	200.42065	-	-	-	-	-	-	
28-jul	-	-	-	-	-	-	6.603028	356.19003	1035.4516	1509.7439	1854.7787	2036.755	2059.378	1923.8755	1637.447	1238.4756	744.9884	201.84098	-	-	-	-	-	-	
29-jul	-	-	-	-	-	-	8.073288	362.2935	1001.0677	1484.7825	1135.8227	1002.7506	989.982	860.6031	701.3253	323.2785	282.6564	263.00429	-	-	-	-	-	-	
30-jul	-	-	-	-	-	-	8.767961	357.41944	1023.3184	1496.849	1838.5394	2022.8106	2070.355	1921.4053	1630.408	1084.689	700.5347	79.0581	-	-	-	-	-	-	
31-jul	-	-	-	-	-	-	8.538936	45.04372	177.05628	1222.4045	1418.2857	2176.583	1904.7739	1176.2957	1075.8548	826.4398	613.1208	213.84019	-	-	-	-	-	-	
SUMA							236.187518	7198.13512	27016.3185	42878.9062	52091.239	55782.3833	56930.3277	51881.6916	39675.9288	28169.8145	16944.218	4390.93655							
																	Energía Total (W/m2)			383196.0868					

Tabla 14: Datos de radiación solar directa para el mes de julio 2016 en el glaciar Shallap.

El total de energía que llega al glaciar Shallap en forma de radiación solar para cada mes de estudio es:

Mes/Año	(ET) Energía Total (W/m ²)
Oct - 2015	377870.6332
Nov - 2015	306620.1766
Dic - 2015	331259.5288
Ene - 2016	378934.4806
Feb - 2016	309243.4727
Mar - 2016	335525.3126
Abr - 2016	322063.3876
May - 2016	333760.7393
Jun - 2016	318869.9967
Jul - 2016	383196.0868
Ago - 2016	370242.1215

Tabla 16: Energía total para cada mes en el glaciar Shallap.



La unidad de medida de la radiación solar es watts (vatios) por metro cuadrado (W/m²), esta energía será utilizada como base para estimar la cantidad de energía que absorbe el carbono negro y la cantidad de nieve que se funde a causa del carbono negro.

Fotografía 04: Estación meteorológica ubicada en la morrena del glaciar Shallap.

5.2.2. Datos de radiación solar de la estación meteorológica en el glaciar Artesonraju

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
01-oct	-	-	-	-	-	14.15717	86.8902	552.31058	1485.2846	1689.0025	2367.825	2136.6647	1288.923	1058.1543	891.5843	550.2489	304.4999	88.95537	-	-	-	-	-	-
02-oct	-	-	-	-	-	11.55038	37.10563	466.90461	1420.2082	1899.8599	2268.175	1952.44	1159.9991	1304.1681	1152.7069	1307.4829	626.8183	231.37995	9.574862	-	-	-	-	-
03-oct	-	-	-	-	-	13.14331	39.86329	482.4329	1432.3281	1935.044	1849.9676	1084.0766	2251.16	2167.5492	902.4138	600.6528	387.989	125.15557	1.296664	-	-	-	-	-
04-oct	-	-	-	-	-	7.985448	35.454838	173.78782	394.0695	803.0431	672.0668	1309.218	585.6073	1129.1578	1190.1166	847.0101	284.7116	72.93331	1.201379	-	-	-	-	-
05-oct	-	-	-	-	-	6.461535	30.768345	81.05901	310.92921	540.5743	771.5124	1082.5424	999.7935	1073.7858	1457.3915	787.0232	163.96138	30.92124	1.585269	-	-	-	-	-
06-oct	-	-	-	-	-	18.52959	81.92529	260.61172	565.599	1073.851	1285.7593	827.7757	917.9602	574.1033	1219.3665	1130.3172	599.7456	59.35789	-	-	-	-	-	-
07-oct	-	-	-	-	-	8.437142	27.039912	289.89847	988.6828	1956.916	2467.465	2212.383	2027.6176	2100.503	2053.721	763.0749	90.72998	121.62358	4.057477	-	-	-	-	-
08-oct	-	-	-	-	-	15.02659	45.62944	155.94025	751.5957	1560.0684	959.4229	1468.6745	1444.2481	2054.4163	1185.7965	801.7011	717.1378	41.695492	-	-	-	-	-	-
09-oct	-	-	-	-	-	29.05047	78.04212	261.22727	502.0651	799.3554	1100.2487	1301.5477	750.2618	448.4688	1376.1399	866.7353	365.52901	55.41798	-	-	-	-	-	-
10-oct	-	-	-	-	-	14.88328	45.5655	494.22075	544.617	1599.266	1115.4598	1187.4614	794.6551	803.3689	1726.4679	850.949	451.0181	73.54005	1.379816	-	-	-	-	-
11-oct	-	-	-	-	-	17.24184	55.05997	204.96003	413.3041	673.284	532.6246	961.6601	1204.6341	1180.0465	1515.6381	1417.14	411.1016	71.61257	-	-	-	-	-	-
12-oct	-	-	-	-	-	19.5569514	61.38828	204.0193	399.3764	736.199	1008.8074	1114.9832	1370.6695	1365.3509	984.634	1033.0712	456.8902	136.78773	-	-	-	-	-	-
13-oct	-	-	-	-	-	17.62749	47.12154	572.36767	1459.8286	1749.4312	2187.682	2446.248	2511.679	2228.261	1839.9814	785.8973	623.2059	194.4121	3.089185	-	-	-	-	-
14-oct	-	-	-	-	-	18.410383	46.20813	570.38078	1472.9631	1939.7626	2267.459	2485.377	2682.433	2439.704	1551.3532	575.3965	687.7651	142.85344	-	-	-	-	-	-
15-oct	-	-	-	-	-	28.74352	148.07012	440.2662	1241.2068	855.7492	985.194	1145.6675	1292.2303	1252.5088	932.0807	459.9302	222.53868	50.96674	-	-	-	-	-	-
16-oct	-	-	-	-	-	33.854748	139.15658	397.6414	1459.9444	2104.4	2154.6298	1803.7312	1119.1858	1001.8329	1147.5452	1639.3199	388.43557	129.08202	2.03139	-	-	-	-	-
17-oct	-	-	-	-	-	13.07853	56.40152	178.35228	368.4651	635.9	926.1242	952.9797	925.92	777.4857	637.0695	310.9265	238.033	219.36798	-	-	-	-	-	-
18-oct	-	-	-	-	-	54.606236	152.28278	460.1799	1336.9811	1831.0984	2406.417	2554.413	2735.111	2702.743	1449.1347	480.8623	309.1518	81.5367	2.217455	-	-	-	-	-
19-oct	-	-	-	-	-	43.558953	113.75487	396.2681	1447.9836	1998.4495	2355.949	1543.9997	1270.9822	1088.6766	746.4218	444.7336	278.99824	73.63561	-	-	-	-	-	-
20-oct	-	-	-	-	-	38.842701	97.81381	182.35447	1534.9661	2085.5245	1107.0823	1563.6673	2140.7855	2131.6682	1046.8091	1015.0409	348.8539	107.02121	1.144523	-	-	-	-	-
21-oct	-	-	-	-	-	14.470299	34.56596	360.45697	1213.7292	739.0277	974.41	1737.136	1905.18	1995.4161	1147.6185	571.6131	847.6508	87.61842	-	-	-	-	-	-
22-oct	-	-	-	-	-	19.551662	93.55018	346.6928	669.1102	1083.1015	1920.9417	1361.5197	1483.1082	908.1755	1060.414	328.1449	432.3528	55.222599	-	-	-	-	-	-
23-oct	-	-	-	-	-	23.628291	79.15387	270.1215	492.9214	981.6771	1484.541	2232.1267	1876.3649	1631.5111	579.8138	429.69385	187.86843	34.32921	1.915721	-	-	-	-	-
24-oct	-	-	-	-	-	16.41074	64.22648	258.6041	393.3759	1480.5912	1592.1024	1550.4702	1585.7332	1414.4314	1376.6244	679.7863	365.0258	117.29134	3.116763	-	-	-	-	-
25-oct	-	-	-	-	-	26.833494	106.97669	400.1189	753.3159	1111.9903	1413.3101	1555.5482	1618.7144	1533.5639	390.7675	96.61983	81.51114	20.360533	-	-	-	-	-	-
26-oct	-	-	-	-	-	27.211809	84.83323	149.0787	1546.9272	1565.8297	1897.8172	1584.3853	1909.4819	1747.8538	1705.4919	1092.7625	447.06974	29.282143	-	-	-	-	-	-
27-oct	-	-	-	-	-	6.363745	19.816035	62.59985	111.31398	161.78725	224.8387	257.5952	379.8402	1407.7705	927.8186	729.83126	105.63129	124.60724	1.651764	-	-	-	-	-
28-oct	-	-	-	-	-	19.34052	46.34204	537.13002	1577.1863	2008.6617	1701.6289	1768.8948	2360.687	1892.8324	1181.3235	574.6731	129.31933	80.75525	4.593424	-	-	-	-	-
29-oct	-	-	-	-	-	37.560789	109.77881	545.5401	1440.9234	1944.3777	2088.384	1368.7871	2253.384	1013.8038	184.86745	179.05043	101.39101	12.717591	-	-	-	-	-	-
30-oct	-	-	-	-	-	49.573181	120.8518	168.66906	1438.1437	1361.0962	1449.399	1402.5363	1511.6642	575.7526	564.2994	378.1799	158.74553	70.06512	7.355949	-	-	-	-	-
31-oct	-	-	-	-	-	23.716417	85.52527	622.5547	1492.9233	1927.2057	2088.477	2268.976	1902.4442	2650.603	1531.0773	432.8156	263.7106	97.69045	5.965134	-	-	-	-	-
SUMA	-	-	-	-	-	689.419777	2271.16253	10546.7502	30660.269	42832.1251	47625.7218	48223.4862	48213.4583	45653.6672	35656.489	22160.6846	11077.3911	2838.19643	52.176775	-	-	-	-	-
																				Energía Total		348500.9979		

Tabla 17: Datos de radiación solar directa para el mes de octubre 2015 en el glaciar Artesonraju.

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00			
01-abr	-	-	-	-	-	3.141331	26.567251	243.6567	928.4335	1630.7437	771.3844	570.169	1028.0028	1751.6108	2101.8328	1221.6726	369.8519	61.21119	1.048601	-	-	-	-	-			
02-abr	-	-	-	-	-	4.227053	61.490493	327.244	629.2484	1030.1343	1480.2234	1881.8641	1653.2695	1610.5257	1033.2627	1043.4901	409.1046	83.66051	1.945347	-	-	-	-	-			
03-abr	-	-	-	-	-	1.062558	15.140618	166.15953	381.3602	427.8835	701.031	805.861	1350.7319	518.465	616.0251	614.3612	192.87475	86.61739	2.137647	-	-	-	-	-			
04-abr	-	-	-	-	-	5.18825	27.04437	384.77056	1222.3898	1787.3673	1725.4918	2285.564	2311.08	2463.483	2197.626	1343.0872	618.8669	95.76479	3.3436	-	-	-	-	-			
05-abr	-	-	-	-	-	2.515713	22.681143	175.8733	429.0041	589.6176	752.5316	1550.6424	868.8042	661.7013	918.4607	512.169	423.48608	140.63806	7.931658	-	-	-	-	-			
06-abr	-	-	-	-	-	4.356156	29.195516	192.90226	1166.5665	1736.4283	1910.2349	1200.5669	975.0593	610.9698	441.9176	554.8658	483.7898	86.78674	5.091594	-	-	-	-	-			
07-abr	-	-	-	-	-	3.740564	21.438054	419.80496	1234.8812	1750.7963	2205.053	2835.606	2047.045	1625.0663	1691.9309	1545.0704	717.3596	82.28535	4.769952	-	-	-	-	-			
08-abr	-	-	-	-	-	3.713987	23.267037	235.19305	935.4126	1565.4122	1194.3904	1516.7233	1889.5342	1525.5676	1018.5853	664.0344	621.4233	173.29394	4.376071	-	-	-	-	-			
09-abr	-	-	-	-	-	-	5.280722	27.960216	219.97187	1175.1926	2026.6013	2241.512	1507.5759	1401.429	1177.6147	435.5685	91.82381	33.61653	13.98123	-	-	-	-	-			
10-abr	-	-	-	-	-	2.555435	28.976765	132.73957	1009.3562	1715.049	2129.346	2018.601	1292.5593	818.0566	326.812	609.8723	197.46164	37.041589	1.085341	-	-	-	-	-			
11-abr	-	-	-	-	-	3.11485	36.34212	169.82984	664.0467	847.4006	1009.293	642.0851	672.5978	866.3684	574.4429	110.51652	84.87707	103.2807	8.878248	-	-	-	-	-			
12-abr	-	-	-	-	-	3.257189	41.380759	260.486	679.2212	1253.0581	1099.9002	1537.6681	2357.777	2367.274	1029.7283	1012.1119	490.0057	93.97094	3.684972	-	-	-	-	-			
13-abr	-	-	-	-	-	3.433798	21.278288	421.98902	1214.495	1688.8798	2066.0327	2365.396	2445.93	2260.681	1917.3512	1022.4246	275.27746	81.6004	3.546095	-	-	-	-	-			
14-abr	-	-	-	-	-	3.757019	22.661279	482.37958	1243.8618	1733.8318	2072.5472	1949.7388	1498.0641	1020.2464	903.8483	837.0711	292.905	141.77876	2.609929	-	-	-	-	-			
15-abr	-	-	-	-	-	2.095324	27.255764	261.1476	894.3628	1363.3623	1795.148	971.6397	1581.2718	1604.5512	810.6312	443.8259	561.4877	142.71351	4.651688	-	-	-	-	-			
16-abr	-	-	-	-	-	3.12478	30.21504	110.02934	288.4779	572.5083	695.5326	784.9231	1091.3215	1305.411	959.8711	510.8057	272.76247	72.70528	7.328225	-	-	-	-	-			
17-abr	-	-	-	-	-	2.707702	25.309402	79.88052	305.9769	670.4075	805.0009	744.1264	1178.1828	2018.7909	1011.2995	817.2782	357.4896	86.23144	1.674426	-	-	-	-	-			
18-abr	-	-	-	-	-	1.231375	8.755343	79.14897	176.50046	338.8334	469.2335	517.1445	1203.5735	1369.0577	627.8867	874.8744	355.5202	104.4415	2.074462	-	-	-	-	-			
19-abr	-	-	-	-	-	3.015545	23.055185	452.8518	1159.0895	1691.7132	2158.958	2390.294	993.5447	1124.8398	1067.1211	458.4604	168.71938	28.66365	-	-	-	-	-	-			
20-abr	-	-	-	-	-	3.784403	46.323213	351.4734	1115.8482	1167.1106	587.5808	829.8751	950.6082	1607.3871	1185.2472	549.261	363.9774	91.33523	2.577324	-	-	-	-	-			
21-abr	-	-	-	-	-	3.211775	21.416115	504.7099	1161.1107	1652.0219	2006.7672	1734.6873	1539.8681	934.3609	713.0337	459.5328	273.6727	84.02897	3.186041	-	-	-	-	-			
22-abr	-	-	-	-	-	3.402833	25.898603	349.68409	1002.6763	1254.9327	1464.3128	986.6896	1340.281	1934.9021	1192.4102	709.9426	322.9792	92.25242	1.17428	-	-	-	-	-			
23-abr	-	-	-	-	-	5.170453	57.388043	431.21296	1131.6967	1556.9848	1968.1452	1175.5643	891.6346	1077.6699	1801.9439	729.7116	176.00343	50.63243	3.847723	-	-	-	-	-			
24-abr	-	-	-	-	-	1.204894	16.110494	197.43718	1076.4164	1371.1602	1151.1777	1625.2976	821.0147	686.8022	962.785	384.8621	756.7675	114.3592	2.871257	-	-	-	-	-			
25-abr	-	-	-	-	-	3.814145	20.709765	518.2311	1169.1406	1641.8365	2032.6076	2271.181	2434.465	1882.0729	2036.8266	1428.9053	120.00981	11.481165	-	-	-	-	-	-			
26-abr	-	-	-	-	-	3.351015	20.049805	510.2656	1160.4906	1594.1638	1599.3266	1587.3155	2393.36	1965.0246	1565.7165	1299.4024	419.78	58.11717	2.897274	-	-	-	-	-			
27-abr	-	-	-	-	-	3.307969	19.102999	578.0436	1149.2404	1623.3741	1958.1215	2161.713	2212.798	1912.8981	1657.0862	805.0821	436.0972	148.96197	3.975425	-	-	-	-	-			
28-abr	-	-	-	-	-	4.862608	25.739718	508.6662	1186.8306	1683.8812	1984.721	2160.362	2207.565	2127.886	1939.5631	1033.1117	457.8874	122.49182	2.034317	-	-	-	-	-			
29-abr	-	-	-	-	-	3.255633	20.456713	504.8859	1164.8225	1628.4691	1985.648	2172.473	2207.507	2078.88	1779.0371	1345.4188	589.2512	56.3266	2.533817	-	-	-	-	-			
30-abr	-	-	-	-	-	4.188769	22.231939	492.2186	1149.5025	1624.4951	1968.5001	2163.624	2200.698	2061.324	1763.1809	1339.0115	595.4946	43.25723	1.601136	-	-	-	-	-			
SUMA	-	-	-	-	-	95.793126	792.762556	9570.87535	27250.4321	40367.0498	45774.8424	47678.9078	47145.7249	45193.3033	37023.0785	24715.8021	11497.0074	2609.54647	106.85768	-	-	-	-	-			
																			Energía Total (W/m2)			339821.9835					

Tabla 23: Datos de radiación solar directa para el mes de abril 2016 en el glaciar Artesonraju.

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
01-may	-	-	-	-	-	3.678603	20.131033	495.0295	1163.9462	1636.2628	1979.3458	2165.803	2186.951	2059.308	996.2657	255.6169	169.22948	49.41402	1.938779	-	-	-	-	-
02-may	-	-	-	-	-	5.006351	31.908091	451.8615	1117.5538	1590.4846	1905.9534	2119.016	2176.347	1845.4695	1708.2511	664.9597	200.32602	62.58735	2.203371	-	-	-	-	-
03-may	-	-	-	-	-	3.480155	19.655755	478.7861	1128.6648	1603.8753	1953.7422	2146.904	2168.656	2033.8222	1743.0952	1148.2226	299.3492	106.50167	2.064533	-	-	-	-	-
04-may	-	-	-	-	-	2.917103	18.366823	484.8505	1137.493	1596.364	1936.5887	2133.832	2158.956	2024.9658	1739.1811	634.0863	182.37427	72.58191	1.3333	-	-	-	-	-
05-may	-	-	-	-	-	2.957983	19.059613	481.8277	1140.1589	1601.2878	1923.8868	2242.065	2292.442	2205.242	1808.5503	1421.8483	481.56568	75.61955	1.217295	-	-	-	-	-
06-may	-	-	-	-	-	3.493401	19.450531	272.7389	1018.7524	1652.0058	2019.3818	1837.948	2134.1863	1805.3592	1202.914	830.6795	138.09888	42.10996	1.283674	-	-	-	-	-
07-may	-	-	-	-	-	2.245048	17.894158	504.3093	1128.4027	1449.8414	1438.2908	1525.8007	1391.8318	1358.3044	781.8336	517.5388	125.71448	45.48364	-	-	-	-	-	-
08-may	-	-	-	-	-	2.860946	32.854526	416.65879	979.6817	1371.2309	1941.5677	1779.4327	1668.7893	2181.245	1277.7284	297.6044	143.54988	55.58504	1.25056	-	-	-	-	-
09-may	-	-	-	-	-	2.827439	37.572789	307.30356	967.7094	1300.511	1714.3081	2011.034	2179.864	2052.731	1786.1049	729.161	153.15408	26.263991	1.028918	-	-	-	-	-
10-may	-	-	-	-	-	4.245061	25.751831	395.01611	1134.8779	1581.5724	1951.8195	2179.291	2163.197	2076.2879	1444.8363	1226.7691	372.0476	101.31122	1.825887	-	-	-	-	-
11-may	-	-	-	-	-	3.91263	47.83279	239.44918	549.0192	1338.6938	2078.0302	2059.5529	2067.2623	1754.2992	1742.7861	1155.4181	541.5982	156.69381	-	-	-	-	-	-
12-may	-	-	-	-	-	1.463473	13.952433	330.72646	1114.4687	1495.7564	1515.6991	1781.1614	1198.8574	371.8406	233.2672	116.66904	131.22528	27.612195	-	-	-	-	-	-
13-may	-	-	-	-	-	2.40376	19.05028	234.14571	1095.4372	1504.22	1850.3474	2355.48	2171.5388	1210.5922	980.1926	872.3197	375.3663	51.86062	1.081876	-	-	-	-	-
14-may	-	-	-	-	-	2.023066	17.317586	382.42112	1138.8854	1587.1684	2048.5743	1882.8216	913.6063	891.6484	1476.8869	795.1746	410.456	57.1429	-	-	-	-	-	-
15-may	-	-	-	-	-	2.687905	21.609915	134.55651	751.3225	1546.8668	1583.1963	1773.1944	1856.1119	1582.4622	478.9965	624.7688	261.4042	65.96384	-	-	-	-	-	-
16-may	-	-	-	-	-	1.241306	7.828502	88.81461	261.81533	882.4067	801.634	960.4185	1343.3841	812.2777	940.6177	887.1527	533.11077	83.5113	-	-	-	-	-	-
17-may	-	-	-	-	-	1.516048	24.984998	306.49332	853.5697	1152.5817	828.3597	955.41	1079.9444	723.5002	1475.9966	495.0312	280.15212	19.242693	-	-	-	-	-	-
18-may	-	-	-	-	-	2.529565	17.362375	366.32427	1002.5175	1507.3172	1954.3632	858.6503	646.7874	571.0724	1066.4969	457.2887	338.69274	53.07821	1.763553	-	-	-	-	-
19-may	-	-	-	-	-	1.576169	13.506709	409.56047	1057.369	1503.5042	1839.2291	2070.7539	973.0635	827.1106	637.0553	335.3038	189.80784	49.31374	-	-	-	-	-	-
20-may	-	-	-	-	-	2.413225	17.843415	396.36384	1052.8479	1518.1406	1893.1832	1589.1219	1743.4413	1909.372	1249.2099	315.8086	194.13746	54.086923	-	-	-	-	-	-
21-may	-	-	-	-	-	1.691735	24.175015	225.52069	836.1977	978.4175	916.125	755.6218	818.5757	654.6365	800.9844	479.8839	164.503	53.60184	-	-	-	-	-	-
22-may	-	-	-	-	-	1.356931	20.214961	147.08466	362.6447	883.629	1005.7448	1782.8009	1157.2906	1168.2153	586.5766	361.9175	224.93606	110.70418	-	-	-	-	-	-
23-may	-	-	-	-	-	-	9.314759	90.64511	298.0193	581.2092	1113.3026	855.3944	1116.8858	906.1606	695.5769	565.4275	208.88313	71.68032	-	-	-	-	-	-
24-may	-	-	-	-	-	2.135046	30.248136	184.49036	759.383	1525.4582	1482.0284	1061.7384	1053.4081	1549.9812	730.5852	379.3009	214.38305	64.542902	-	-	-	-	-	-
25-may	-	-	-	-	-	1.993391	19.433901	368.96028	1031.6072	1463.3666	1800.2366	2058.872	1529.2947	602.7372	672.5218	451.1255	224.1584	63.24973	-	-	-	-	-	-
26-may	-	-	-	-	-	2.181848	15.799148	368.54844	1027.052	1373.1598	1877.2721	739.9153	609.243	1624.8669	1108.338	516.6272	195.02254	42.97209	-	-	-	-	-	-
27-may	-	-	-	-	-	1.930253	17.749123	261.14531	750.5884	1283.7384	1667.3131	1950.7993	1575.6056	1745.7308	1689.0201	1090.8414	349.3052	85.33775	-	-	-	-	-	-
28-may	-	-	-	-	-	2.424382	18.207862	396.50663	1068.4515	1490.8176	1839.1402	2026.0502	2098.881	2006.7422	1675.8928	990.184	476.7668	67.13985	-	-	-	-	-	-
29-may	-	-	-	-	-	1.894699	14.249989	370.12782	1048.8101	1494.4567	1827.9855	2006.1534	2040.299	1911.3395	1609.3485	1141.7717	376.94685	38.34803	-	-	-	-	-	-
30-may	-	-	-	-	-	1.775439	14.786529	353.3064	1044.9264	1497.4986	1837.9634	1986.5533	2015.978	1512.5309	334.4619	198.44611	157.0094	45.59687	1.124933	-	-	-	-	-
31-may	-	-	-	-	-	1.937698	14.763328	348.75147	1046.7376	1484.4824	1807.769	1983.2168	1930.8648	1627.8094	1282.7171	916.9682	502.1372	117.12964	1.779294	-	-	-	-	-
SUMA	-	-	-	-	-	74.800659	642.876904	10292.3246	29068.9111	43476.3258	52332.382	53634.8071	50461.5441	45607.661	35956.2896	20873.9158	8615.41211	2016.26778	19.895973	-	-	-	-	-
Energía Total (W/m2)																			353073.4145					

Tabla 24: Datos de radiación solar directa para el mes de mayo 2016 en el glaciar Artesonraju.

Día/Hora	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
01-jun	-	-	-	-	-	1.669455	20.755515	297.98787	695.399	1412.5904	1766.7796	2023.2508	2078.412	1292.492	745.7155	370.5164	242.4671	97.59998	-	-	-	-	-	-
02-jun	-	-	-	-	-	1.516575	17.454035	315.00266	989.5806	1480.8398	1876.4415	1930.935	1438.0617	1786.9126	740.2958	400.8677	298.8967	93.83981	-	-	-	-	-	-
03-jun	-	-	-	-	-	1.258287	13.470367	329.68947	1012.0766	1482.0622	1886.9931	2015.3667	622.15	810.3619	900.4474	248.36098	184.87034	143.54348	-	-	-	-	-	-
04-jun	-	-	-	-	-	1.55299	13.97691	312.25327	991.5861	1426.6446	1485.4552	769.8267	627.4204	336.5329	604.5349	312.8214	119.10324	11.356165	-	-	-	-	-	-
05-jun	-	-	-	-	-	1.076166	10.665634	109.80868	508.1511	1339.5786	854.2049	714.1022	830.0406	628.3438	576.0452	459.7598	110.57966	40.978745	-	-	-	-	-	-
06-jun	-	-	-	-	-	1.479957	28.610377	390.64658	717.431	1311.8039	1568.7353	2006.3744	1985.2525	794.4432	903.8466	642.9485	217.86421	65.349108	-	-	-	-	-	-
07-jun	-	-	-	-	-	-	13.19417	285.64974	1008.1751	1430.8372	1465.0778	1275.9999	1074.2152	1275.0401	717.3885	505.1001	250.8067	85.04368	-	-	-	-	-	-
08-jun	-	-	-	-	-	-	5.537884	95.42505	310.3764	968.8337	1701.9345	1405.6938	2026.6528	2021.5444	522.74127	247.0301	189.04474	34.59195	-	-	-	-	-	-
09-jun	-	-	-	-	-	-	16.25283	150.0358	460.349	1165.9914	1067.2998	1429.71	1386.9682	1342.7101	622.373	329.6677	288.3011	84.09097	-	-	-	-	-	-
10-jun	-	-	-	-	-	-	28.67916	328.61301	904.533	1351.6962	1801.5308	1555.6301	1689.3454	822.8718	484.9234	367.2771	158.18623	44.193263	-	-	-	-	-	-
11-jun	-	-	-	-	-	1.07597	14.22841	86.20172	433.5173	849.5662	1319.8805	1927.8651	1835.1674	1891.3438	1363.0163	544.5457	288.55823	61.699812	-	-	-	-	-	-
12-jun	-	-	-	-	-	-	16.44908	150.11722	342.0803	805.1487	1386.3416	1549.1477	1758.2367	1956.4709	1458.9636	879.3545	473.3351	103.26382	-	-	-	-	-	-
13-jun	-	-	-	-	-	1.066596	12.375096	272.41895	977.8594	1458.4817	1791.3357	2128.592	1882.1558	1385.6645	943.2808	538.8326	379.2776	94.93645	1.459261	-	-	-	-	-
14-jun	-	-	-	-	-	1.029808	11.986838	269.94227	977.0558	1422.4351	1755.6752	1945.8392	1981.9034	1854.9067	1472.8321	740.9868	374.6968	64.22375	-	-	-	-	-	-
15-jun	-	-	-	-	-	-	10.71189	266.06969	985.6822	1437.7965	1773.7956	1966.7716	2004.2266	1884.56	1612.6643	1213.9945	547.8206	37.63508	-	-	-	-	-	-
16-jun	-	-	-	-	-	-	10.53318	263.79469	979.0557	1432.0261	1769.7345	1959.8696	1993.2042	1872.0838	1604.5226	1201.2697	547.9856	37.31102	-	-	-	-	-	-
17-jun	-	-	-	-	-	-	10.73117	261.25556	972.2382	1420.9968	1760.3147	1952.236	1985.6738	1864.9274	1600.0716	1206.4561	549.4471	36.85785	-	-	-	-	-	-
18-jun	-	-	-	-	-	-	10.28172	256.83278	964.6228	1403.0449	1733.5327	1915.3445	1956.9485	1846.557	1441.3615	646.6219	525.9959	51.8584	-	-	-	-	-	-
19-jun	-	-	-	-	-	-	10.15254	249.49565	947.7137	1392.3649	1700.9602	1445.2404	1185.3891	544.4921	505.1154	341.4558	377.7895	45.03376	-	-	-	-	-	-
20-jun	-	-	-	-	-	-	21.15199	273.76659	820.6532	1255.7943	1756.8455	2002.8775	1946.3897	1997.3752	789.9214	315.2632	187.74147	55.70114	-	-	-	-	-	-
21-jun	-	-	-	-	-	-	9.576222	244.39767	942.8093	1385.7182	1720.5467	1912.219	1957.5901	1838.3059	1583.7441	1134.8174	556.8472	41.52235	-	-	-	-	-	-
22-jun	-	-	-	-	-	-	10.01	244.65326	947.2104	1393.9444	1728.9715	1921.2921	1964.0329	1831.2314	1336.1379	1107.0639	765.8498	107.19006	1.77659	-	-	-	-	-
23-jun	-	-	-	-	-	-	9.784839	243.1872	952.0813	1399.6457	1737.1252	1929.3937	1972.1153	1801.6954	1272.4852	760.2389	724.1393	95.89107	1.455712	-	-	-	-	-
24-jun	-	-	-	-	-	-	9.698736	242.10804	952.5862	1395.9799	1732.6656	1927.5643	1969.8636	1863.2414	1649.692	906.6048	830.2866	116.20416	1.395794	-	-	-	-	-
25-jun	-	-	-	-	-	-	9.741787	241.62056	964.223	1423.8136	1762.5427	1957.2219	1511.1872	474.7343	414.3955	207.4772	406.3282	61.03043	1.23735	-	-	-	-	-
26-jun	-	-	-	-	-	-	9.592685	238.19542	949.4016	1414.5166	1828.8174	1635.5056	821.4604	743.0923	887.106	723.468	419.3252	134.57142	1.200965	-	-	-	-	-
27-jun	-	-	-	-	-	-	10.95881	88.77719	335.4713	874.2527	1026.294	1346.8981	1225.968	947.7294	676.5898	439.1874	249.7141	84.97289	-	-	-	-	-	-
28-jun	-	-	-	-	-	-	9.422576	86.29757	283.1083	463.6266	1304.6717	1021.2892	1058.3836	975.0311	816.4557	433.643	246.6038	72.75045	-	-	-	-	-	-
29-jun	-	-	-	-	-	-	9.621928	235.20296	949.5695	1398.1261	1745.2235	2015.016	1749.0172	1258.8745	1038.9152	441.3975	409.2165	102.9651	2.336111	-	-	-	-	-
30-jun	-	-	-	-	-	-	9.184362	234.13669	946.4214	1399.2192	1745.163	1945.3649	1988.2626	1877.1317	1620.655	1228.9852	600.2758	40.34124	1.115025	-	-	-	-	-
SUMA	-	-	-	-	-	11.725804	394.790741	7063.58381	24221.0188	38797.3762	48554.89	51532.438	48505.6949	41820.7016	30906.2376	18896.0139	11521.3544	2146.5474	11.976808	-	-	-	-	-
Energía Total (W/m2)																			324384.3499					

Tabla 25: Datos de radiación solar directa para el mes de junio 2016 en el glaciar Artesonraju.

El total de energía que llega al glaciar Artesonraju en forma de radiación solar para cada mes de estudio es:

Mes/Año	(ET) Energía Total (W/m²)
Oct - 2015	348500.9979
Nov - 2015	303620.3446
Dic - 2015	340541.3611
Ene - 2016	397205.7936
Feb - 2016	301059.5498
Mar - 2016	322862.7870
Abr - 2016	339821.9835
May - 2016	353073.4145
Jun - 2016	324384.3499
Jul - 2016	370388.6068

Tabla 27: Energía total para cada mes en el glaciar Artesonraju.

Estos datos de radiación solar se obtuvieron de la estación meteorológica ubicada en el glaciar Artesonraju (Quebrada de Parón), asumiremos que esta misma energía llega al glaciar Yanapaccha, estos datos tienen mayor representatividad que los datos de la estación meteorológica del laboratorio CIADERS – UNASAM – FCAM localizado en el centro poblado de Tingua (Yungay), ya que cumple con similares características de tiempo y ubicación geográfica con el glaciar Yanapaccha. Por el momento se cuenta con datos de radiación solar solo hasta el mes de julio de 2016 de esta estación, en un futuro informe se completará los meses siguientes con sus correspondientes cálculos de energía absorbida y nieve fundida a causa del carbono negro. Para un futuro trabajo de investigación de carbono negro en glaciares se recomienda la adquisición de piranómetros, para instalar de manera permanente en glaciares de interés y disponer de datos de radiación solar de manera inmediata.

5.3. Aplicación de la Simulación SNICAR

Se utilizó la simulación SNICAR (Snow, Ice, Aerosol and Radiation) para simular el albedo de la nieve superficial, así como la absorción dentro de la capa de nieve. En esta simulación se ingresaron los valores de carbono negro obtenidos bajo la metodología LAHM para cada uno de los meses y para cada uno de los glaciares en estudio. A partir de ello se obtuvo una estimación al efecto radiativo (albedo) de la nieve sin y con carbono negro.

A continuación se muestra el portal de la simulación SNICAR para el albedo de la nieve:

Figura 02: Portal de la simulación SNICAR.

Se ingresó al portal y se eligió las características del área de muestreo, además de ingresar los valores de carbono negro determinados en los filtros. Los datos elegidos e ingresados fueron por recomendación del Dr. Carl Schmitt. (NCAR)

Los datos que se ingresaron en la simulación SNICAR son:

1a. Radiación Incidente	<i>Elección: Directa.</i>
1b. Ángulo cenital solar, si la radiación incidente es directa (0-89 grados)	<i>Ingreso: 30 grados</i>
2. Distribución de superficie espectral	<i>Elección: El invierno de mitad de latitud, con cielo despejado</i>

3. Radio efectivo del grano de nieve (30-1500 micras)	<i>Ingreso: 500 micras</i>
4. Espesor de capa de nieve	<i>Ingreso: 10 metros</i>
5. Densidad de capa de nieve	<i>Ingreso: 400 kg/m³</i>
6. El albedo del suelo subyacente	<i>Ingreso: Visible 0.5 um – Infrarrojo cercano 0.4 um</i>
7. Concentración de carbón negro (ppb o nanogramos de BC por gramo de hielo)	<i>Ingreso: Valores en nano-gramos de carbono negro para cada mes de muestreo</i>

Tabla 28: Datos elegidos e ingresados en la simulación SNICAR.

A partir del punto 8 se asume un valor cero, debido a que no se considera estos parámetros en la investigación. Los valores se ingresan según las características de nuestra área de estudio y muestra, la primera simulación se realiza como línea base para un albedo sin presencia de carbono negro (BC=0.0ng/g), teniendo en cuenta que una superficie que refleja perfectamente la totalidad de la radiación que recibe tiene una aproximación al valor 1, mientras que 0 indica que no refleja nada.

5.3.1. Aplicación de SNICAR para el glaciar Yanapaccha

Ingresando al portal de la simulación SNICAR se procedió a fijar una línea base para el albedo de la nieve sin contenido de carbono negro (BC). De inmediato se ingresó los valores de carbono negro obtenidos para el glaciar Yanapaccha en cada mes de muestreo, con el fin obtener la afectación al albedo de la nieve en este glaciar. A continuación se describe el procedimiento efectuado en esta etapa:

a. Línea Base para albedo de nieve (para BC=0.0 ng/g)

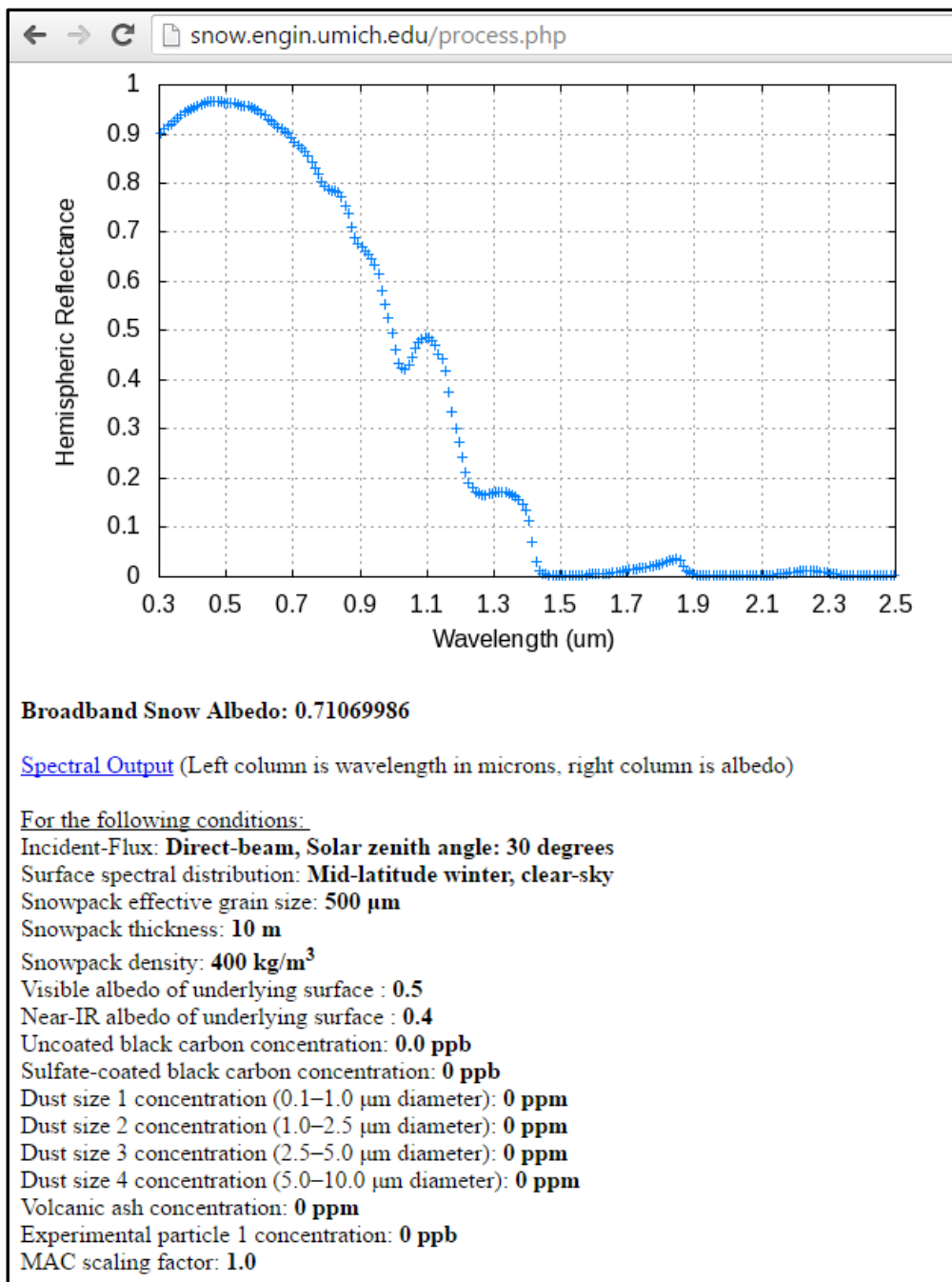


Figura 03: Albedo de la nieve para una masa de carbono negro igual a cero.

Se obtuvo el albedo de la nieve para una concentración con cero de carbono negro, igual a 0.71069986 este valor servirá como línea base para comparar la variación del albedo en cada glaciar de estudio a medida que se ingresen los valores de carbono negro para cada mes de muestreo.

b. Simulación de albedo para el mes de octubre 2015.

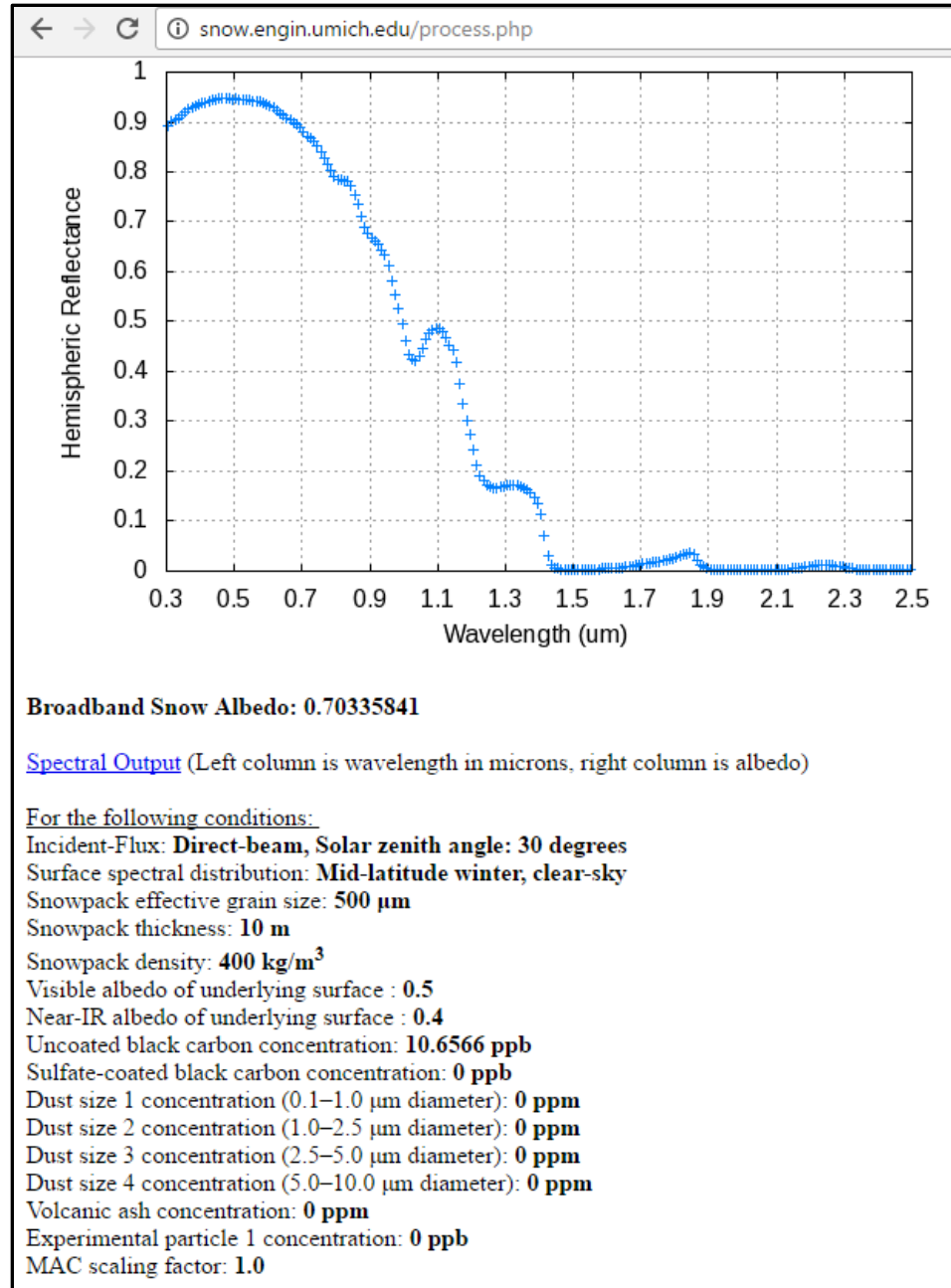


Figura 04: Albedo de nieve para el mes de octubre 2015 en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (10.6566 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.70335841.

c. Simulación de albedo para el mes de noviembre 2015.

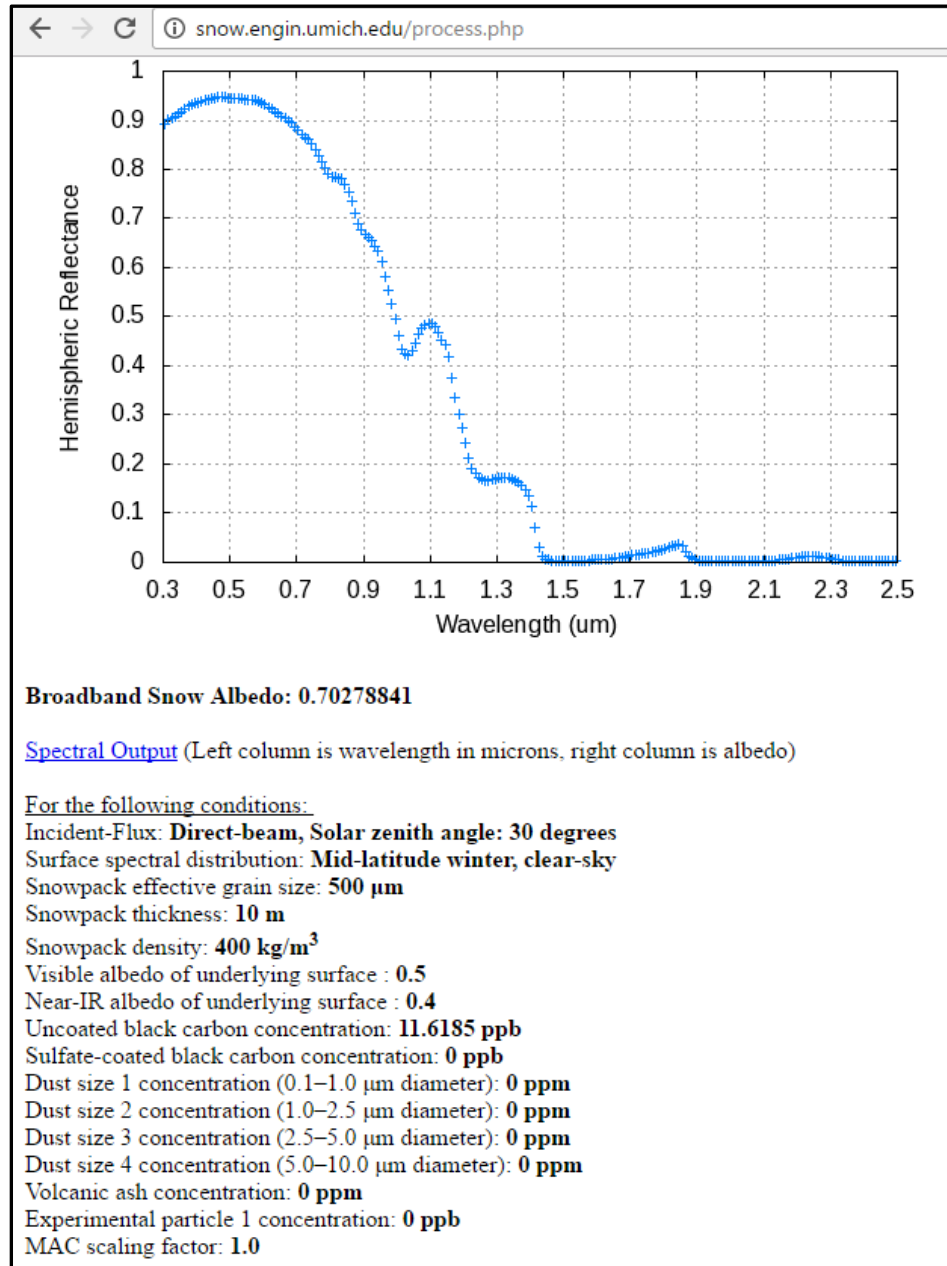


Figura 05: Albedo de nieve para el mes de noviembre 2015 en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (11.6185 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.70278841.

d. Simulación de albedo para el mes de diciembre 2015.

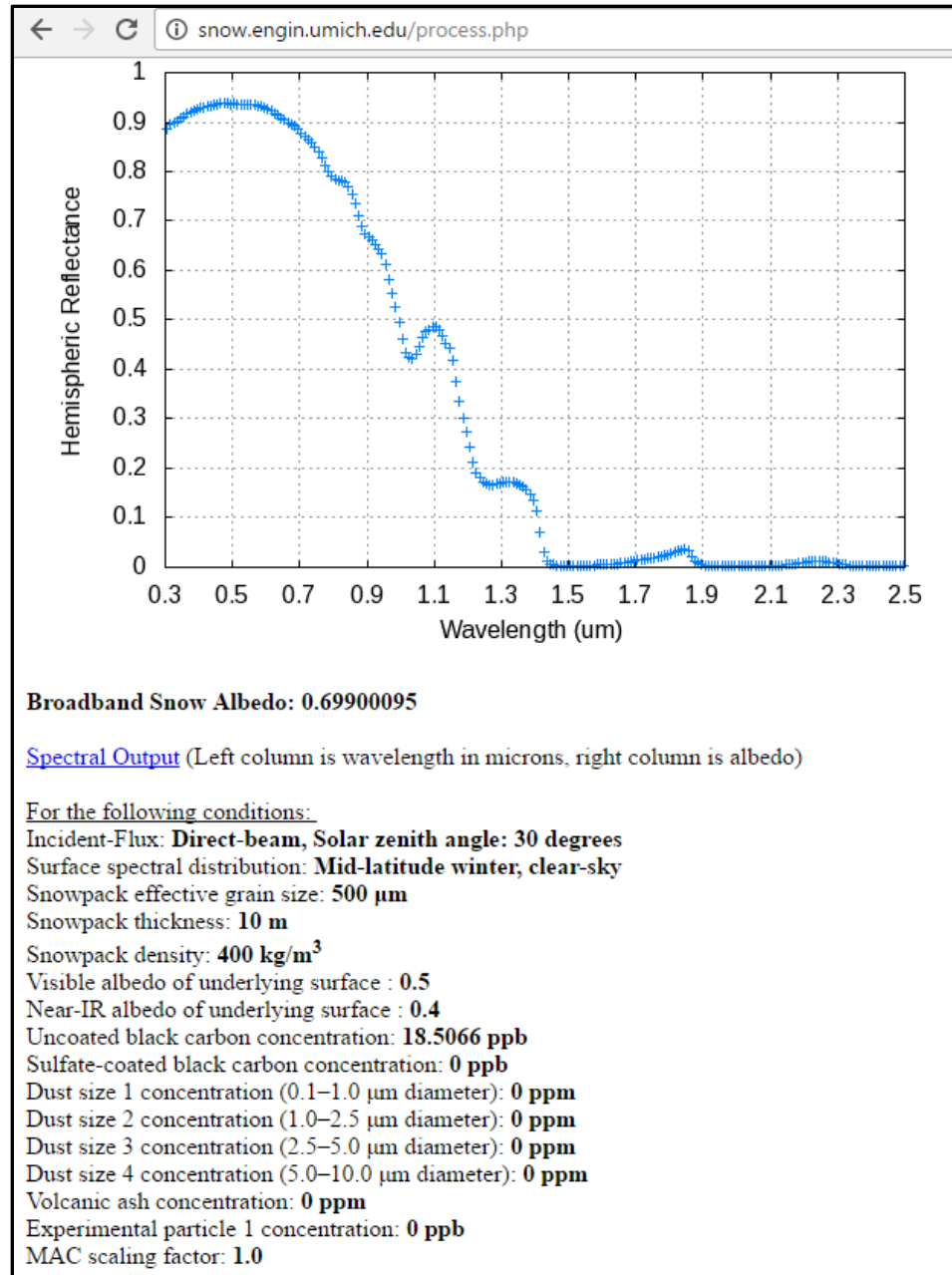


Figura 06: Albedo de nieve para el mes de diciembre 2015 en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (18.5066 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.69900095.

e. Simulación de albedo para el mes de enero 2016.

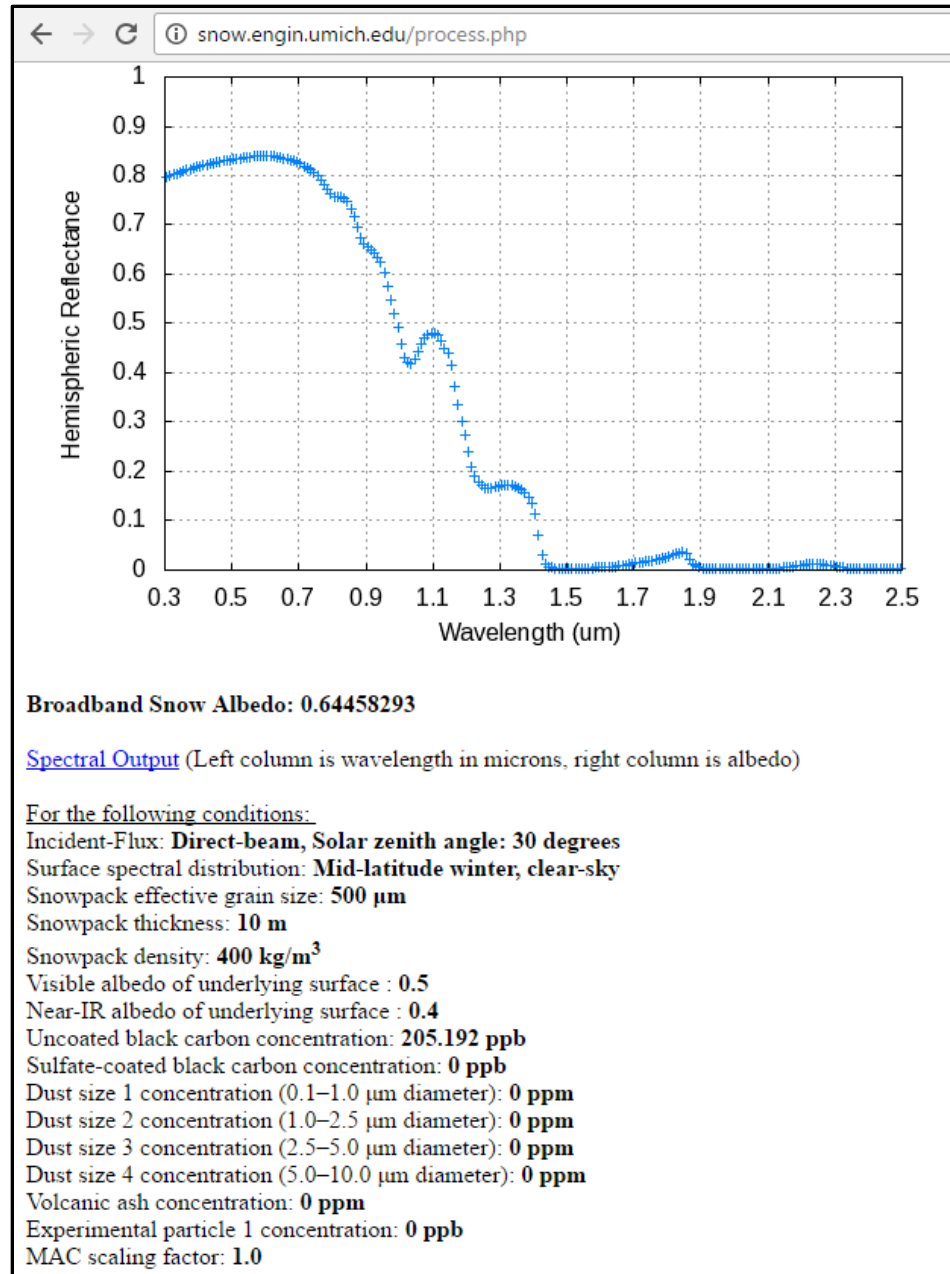


Figura 07: Albedo de nieve para el mes de enero 2016 en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (205.192 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.64458293.

f. Simulación de albedo para el mes de febrero 2016.

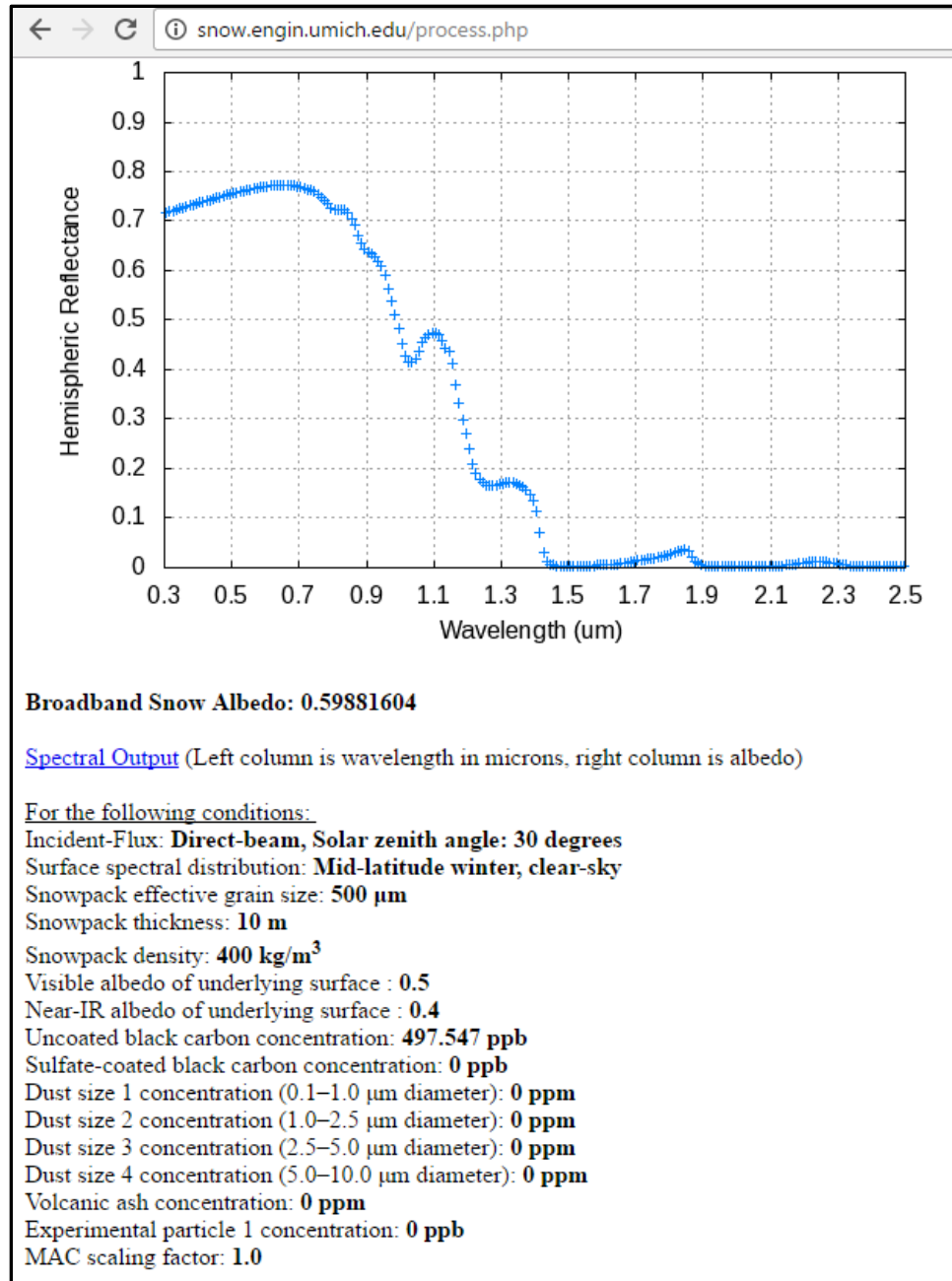


Figura 08: Albedo de nieve para el mes de febrero 2016 en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (497.547 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.59881604.

g. Simulación de albedo para el mes de marzo 2016.

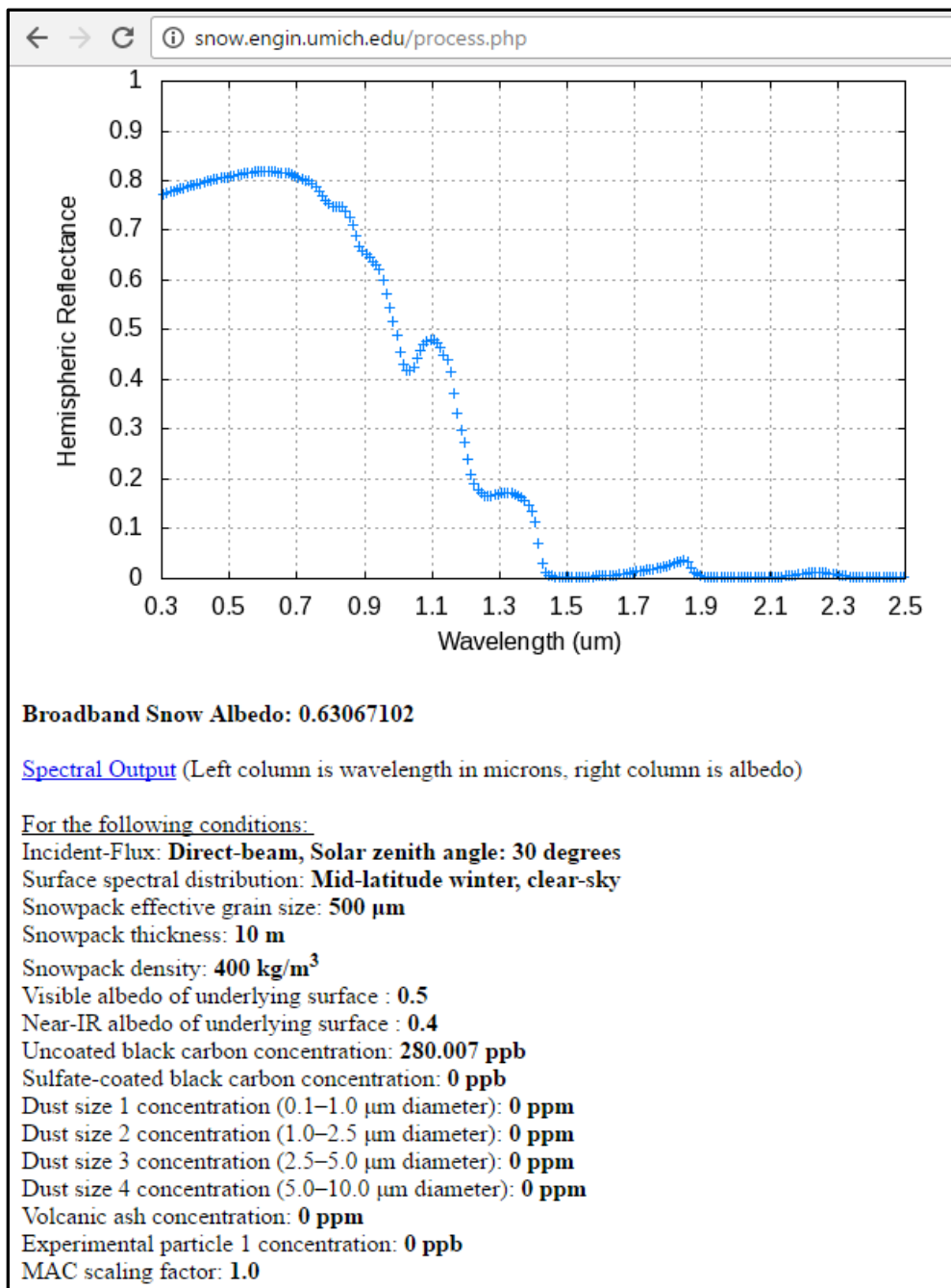


Figura 09: Albedo de nieve para el mes de marzo 2016 en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (280.007 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.63067102.

h. Simulación de albedo para el mes de abril 2016 – zona de acumulación.

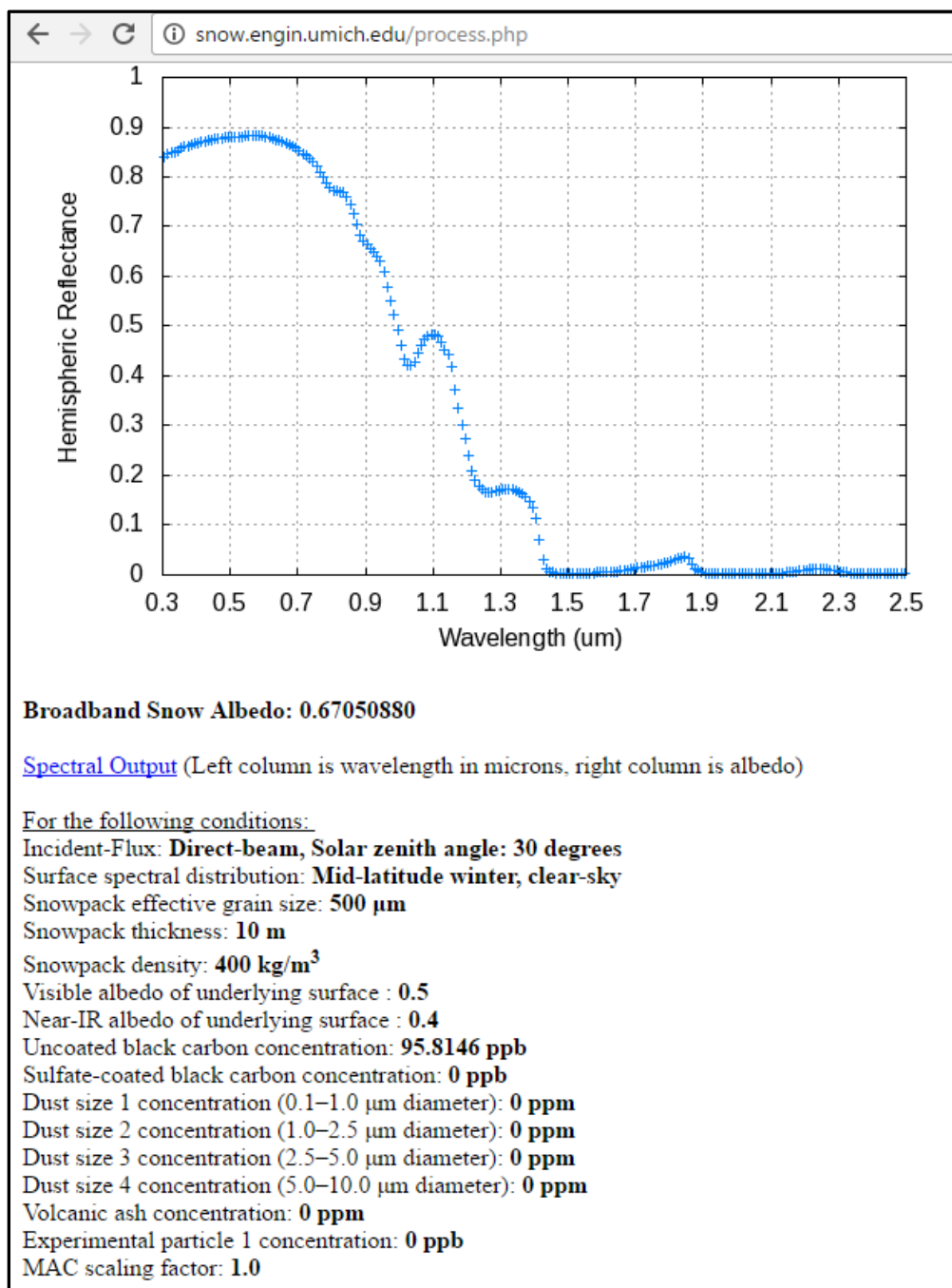


Figura 10: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona acumulación (95.8146 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.67050880.

i. Simulación de albedo para el mes de abril 2016 – Línea de equilibrio.

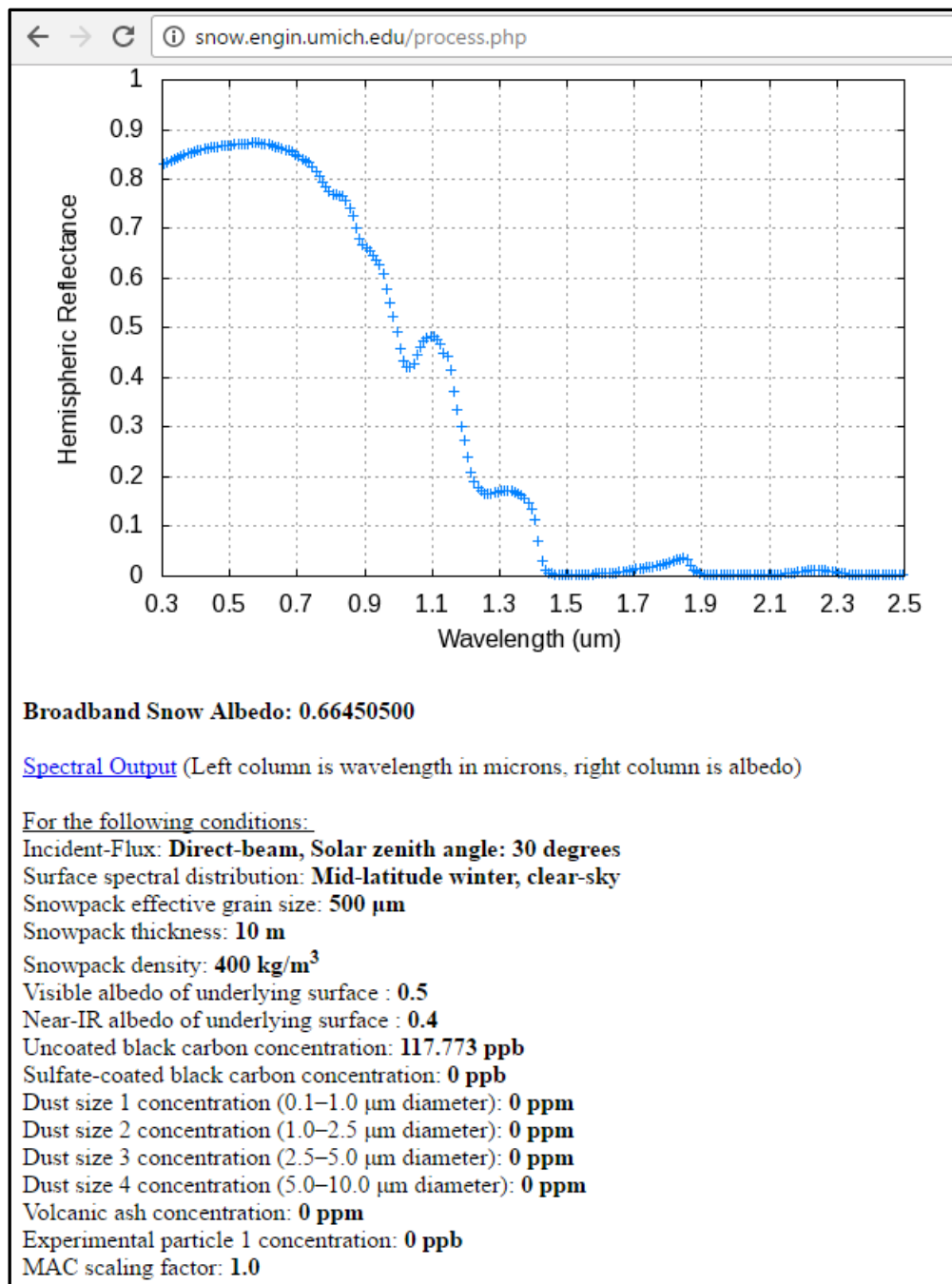


Figura 11: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (117.773 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.66450500.

j. Simulación de albedo para el mes de abril 2016 – zona ablación.

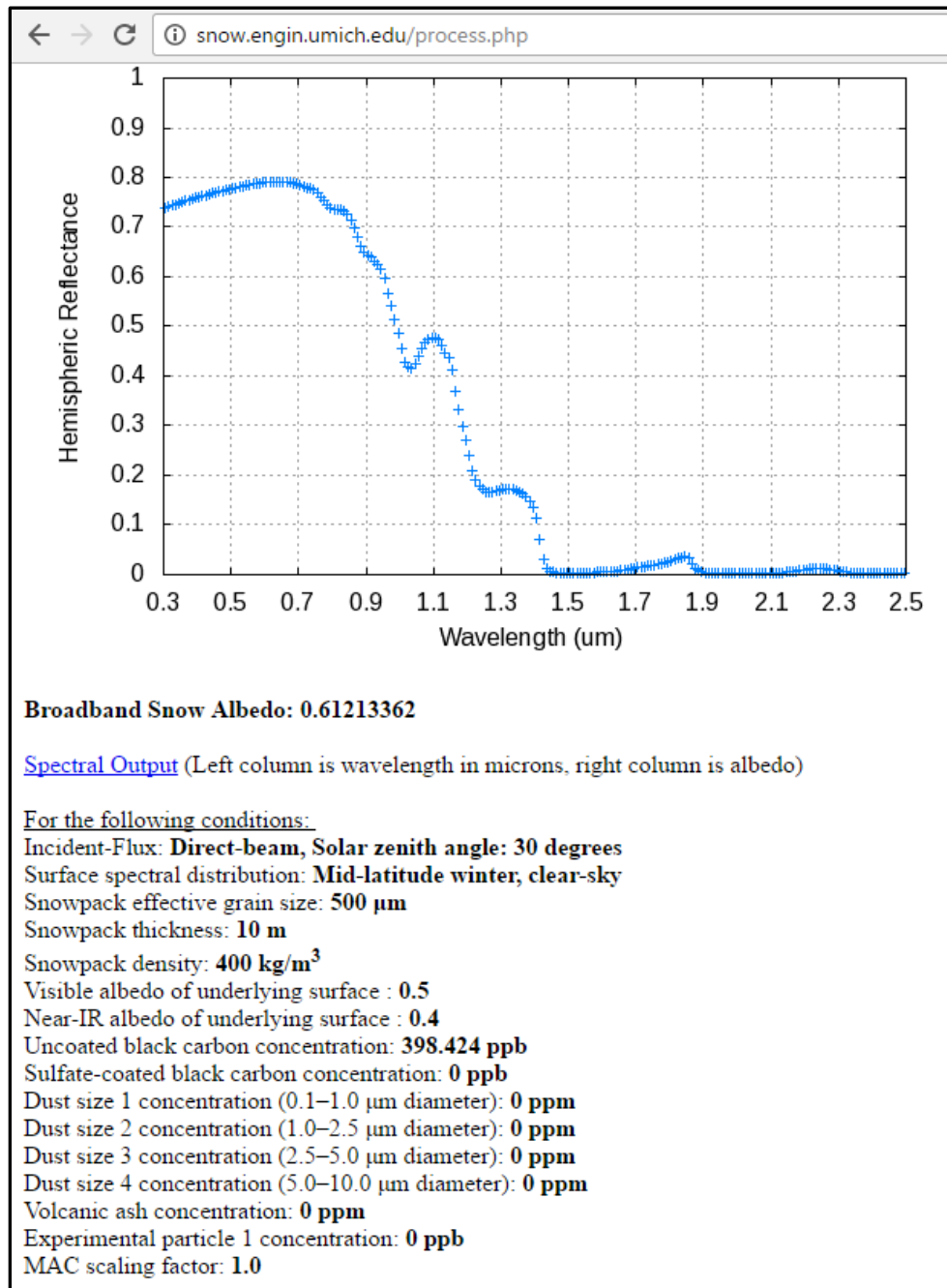


Figura 12: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (398.424 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.61213362.

k. Simulación de albedo para el mes de mayo 2016 – zona de acumulación.

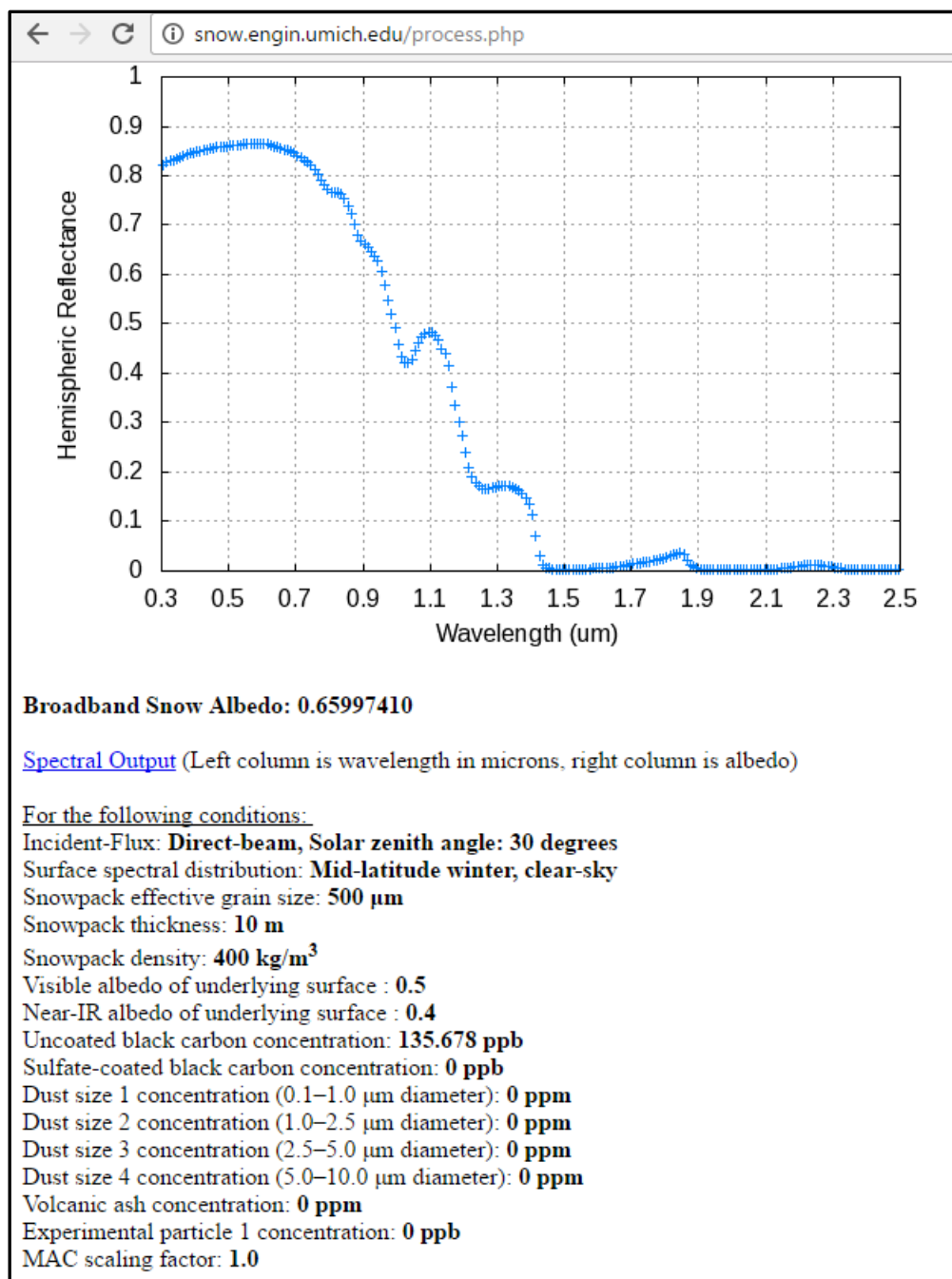


Figura 13: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de acumulación (135.678 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.65997410.

I. Simulación de albedo para el mes de mayo 2016 – Línea de equilibrio.

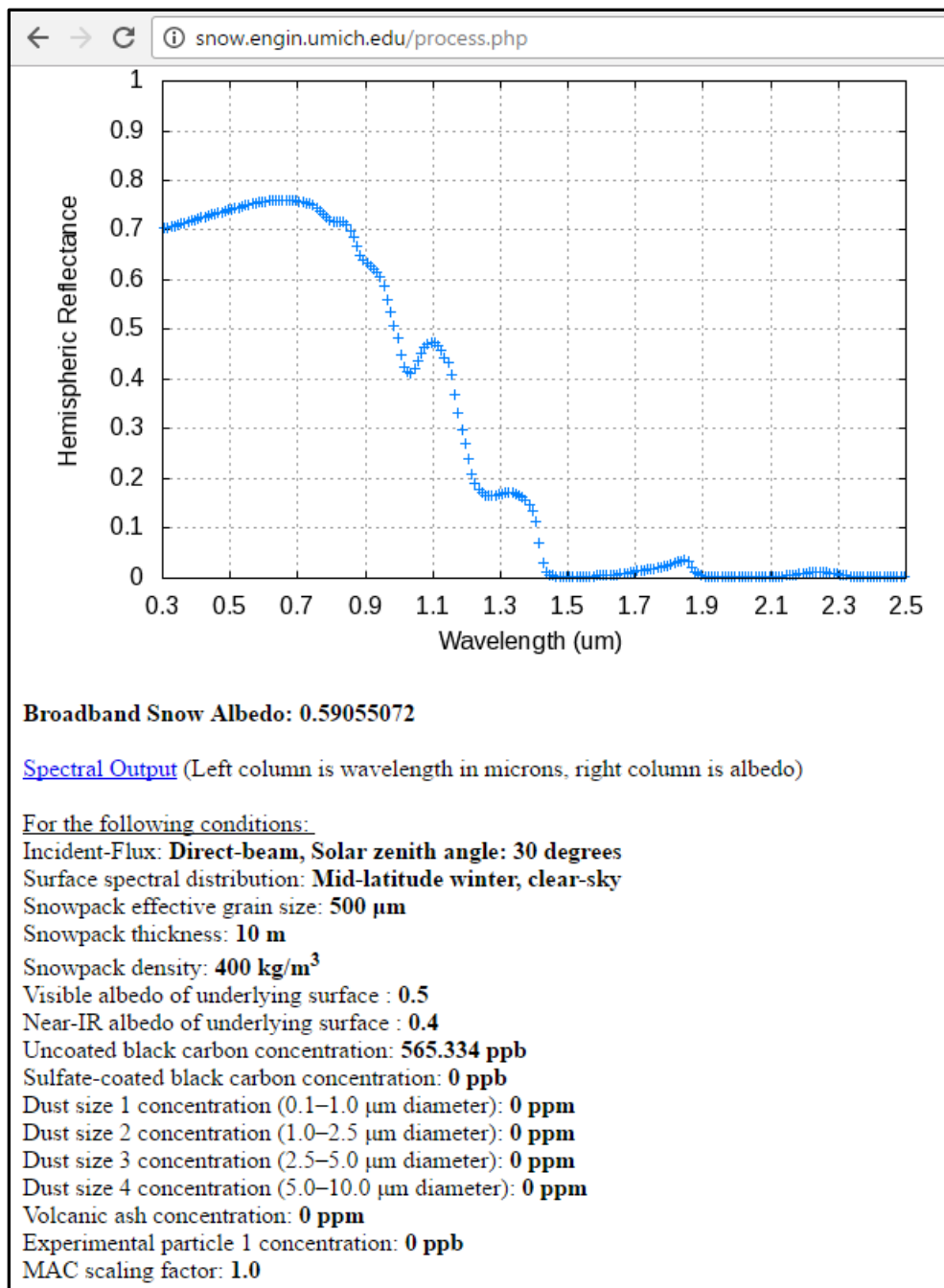


Figura 14: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (565.334 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.59055072.

m. Simulación de albedo para el mes de mayo 2016 – zona ablación.

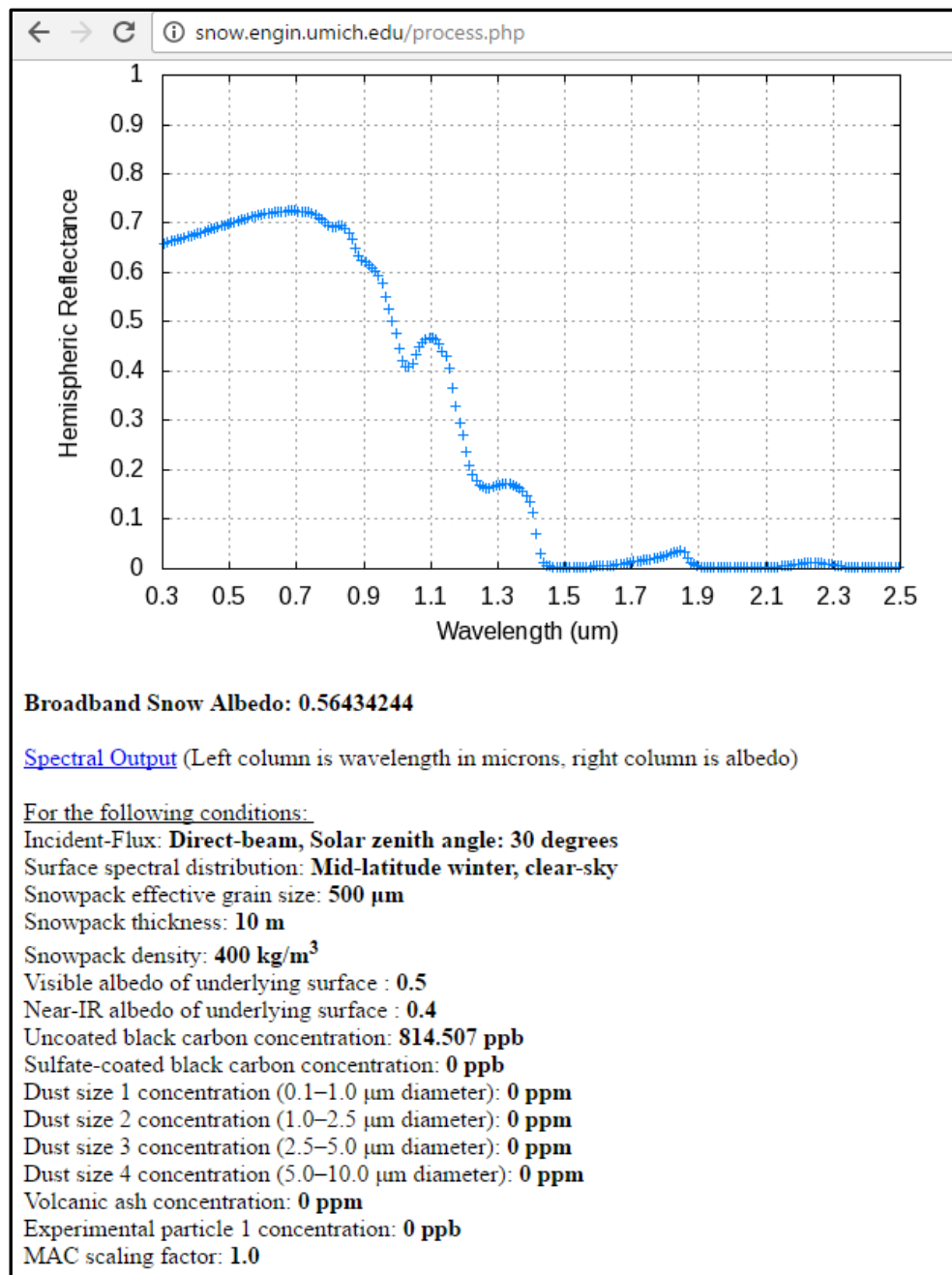


Figura 15: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (814.507 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.56434244.

n. Simulación de albedo para el mes de junio 2016 – zona de acumulación.

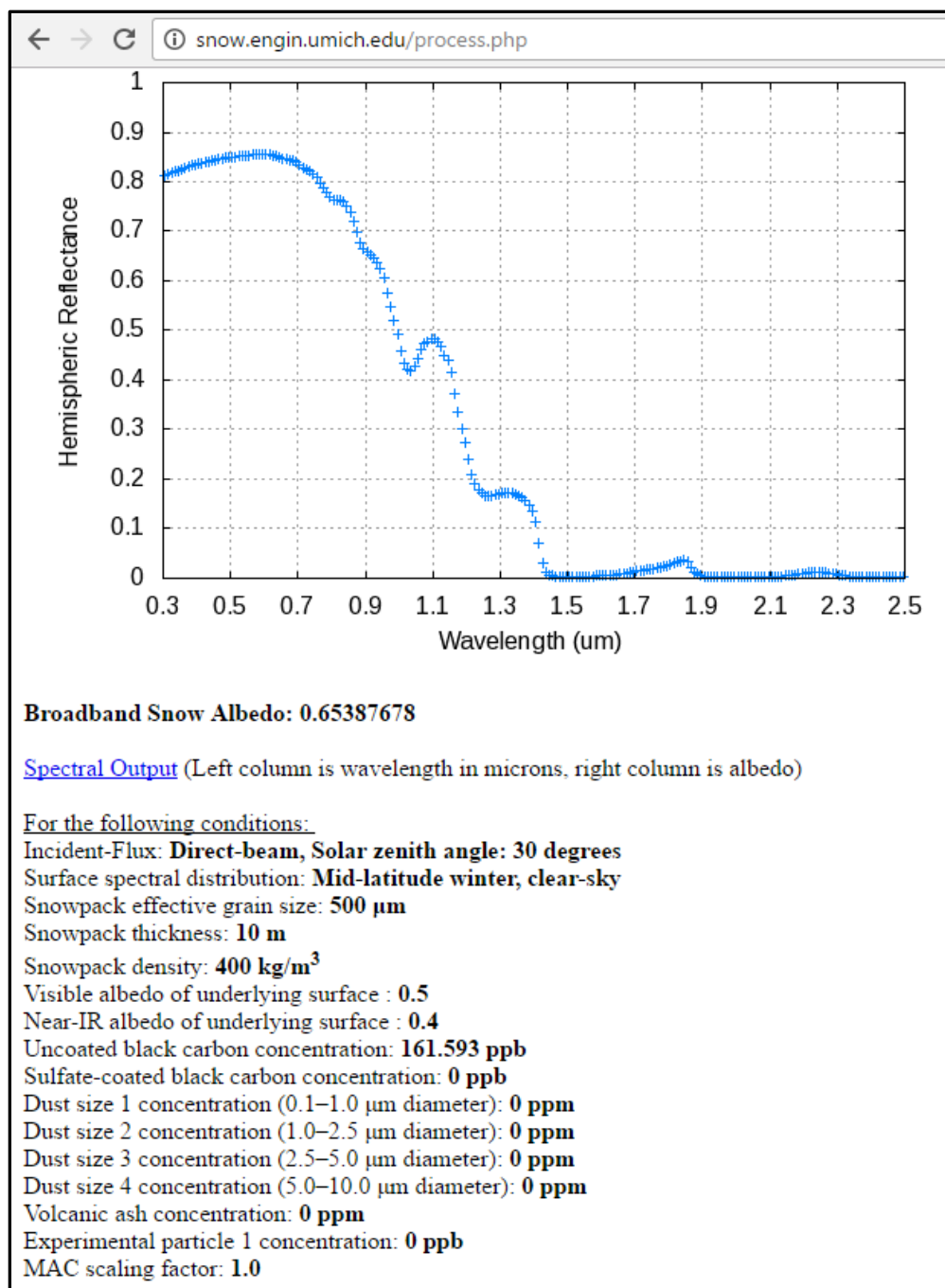


Figura 16: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (161.593 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.65387678.

o. Simulación de albedo para el mes de junio 2016 – Línea de equilibrio.

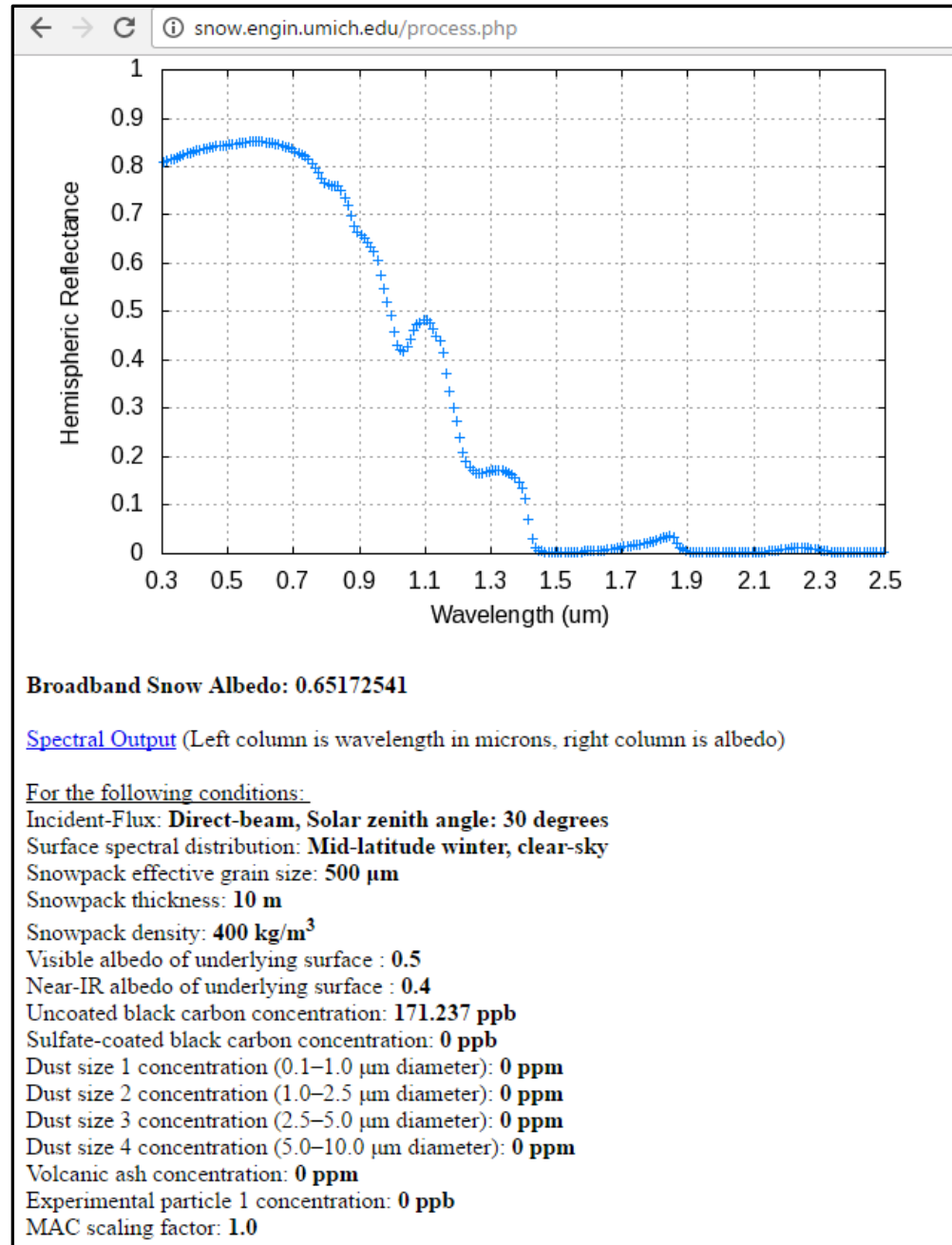


Figura 17: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (171.237 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.65172541.

p. Simulación de albedo para el mes de junio 2016 – zona ablación.

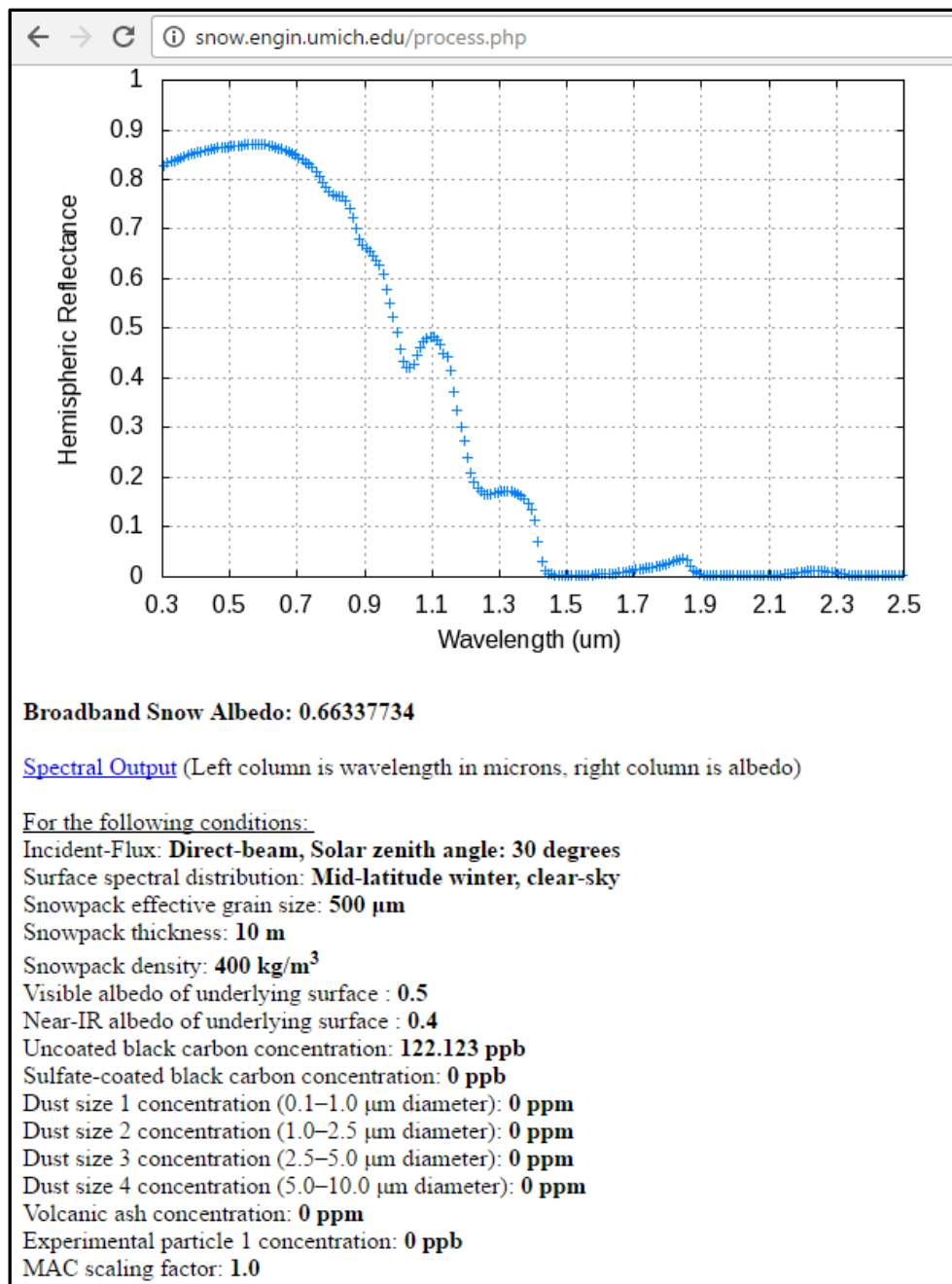


Figura 18: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (122.123 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.66337734.

q. Simulación de albedo para el mes de julio 2016 – zona de acumulación.

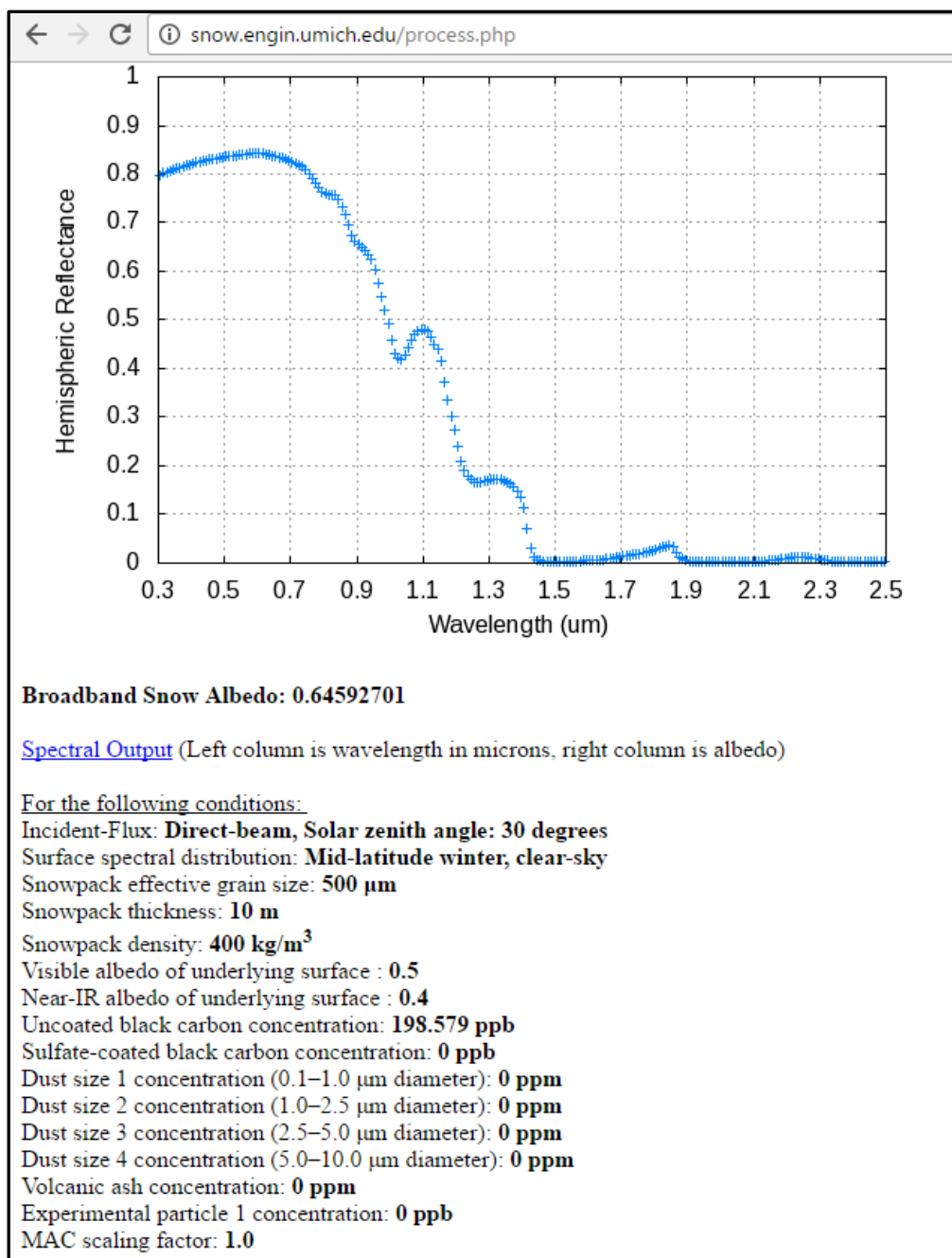


Figura 19: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de acumulación (198.579 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.64592701.

r. Simulación de albedo para el mes de julio 2016 – Línea de equilibrio.

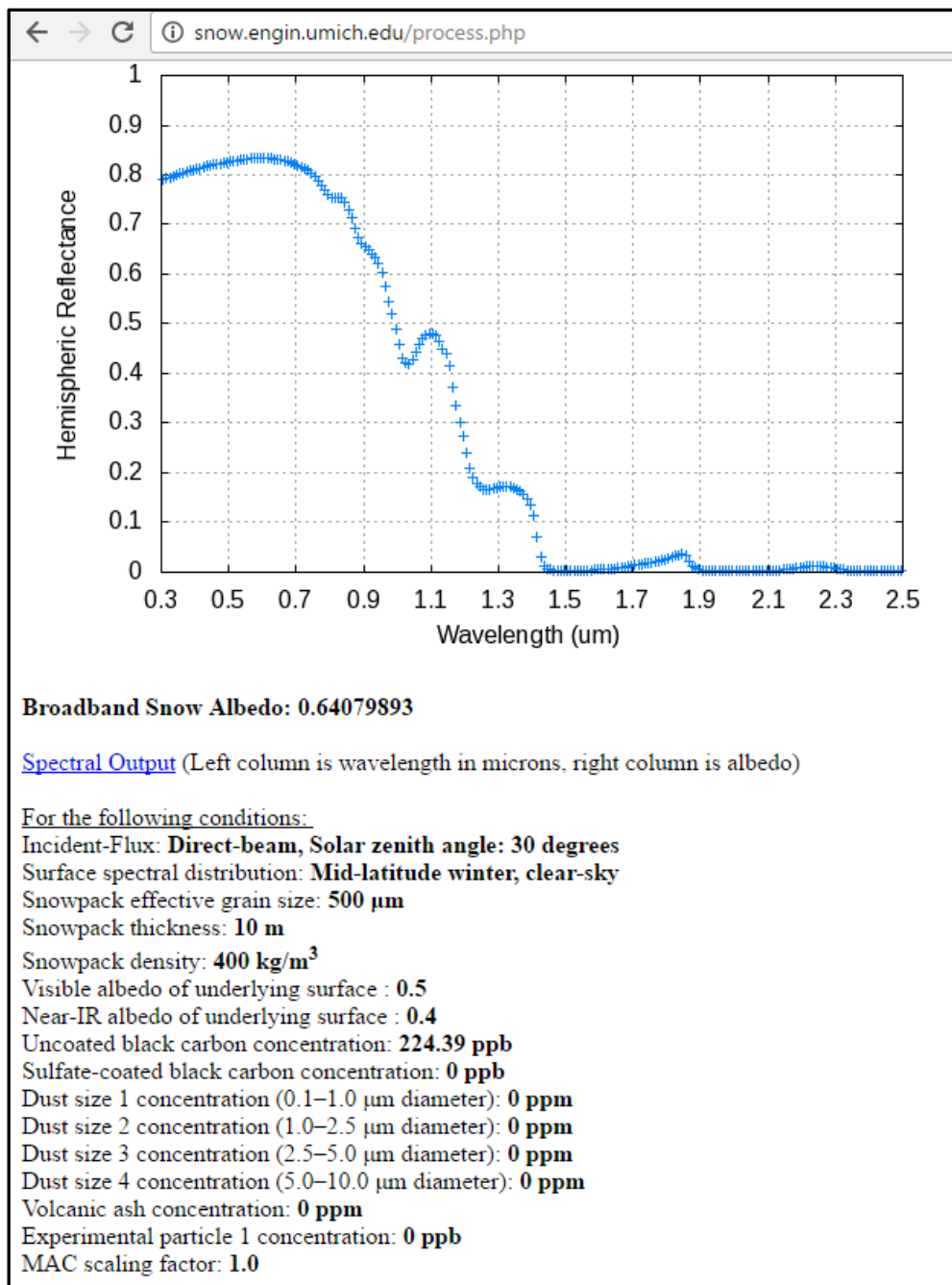


Figura 20: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (224.39 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.64079893.

s. Simulación de albedo para el mes de julio 2016 – zona ablación.

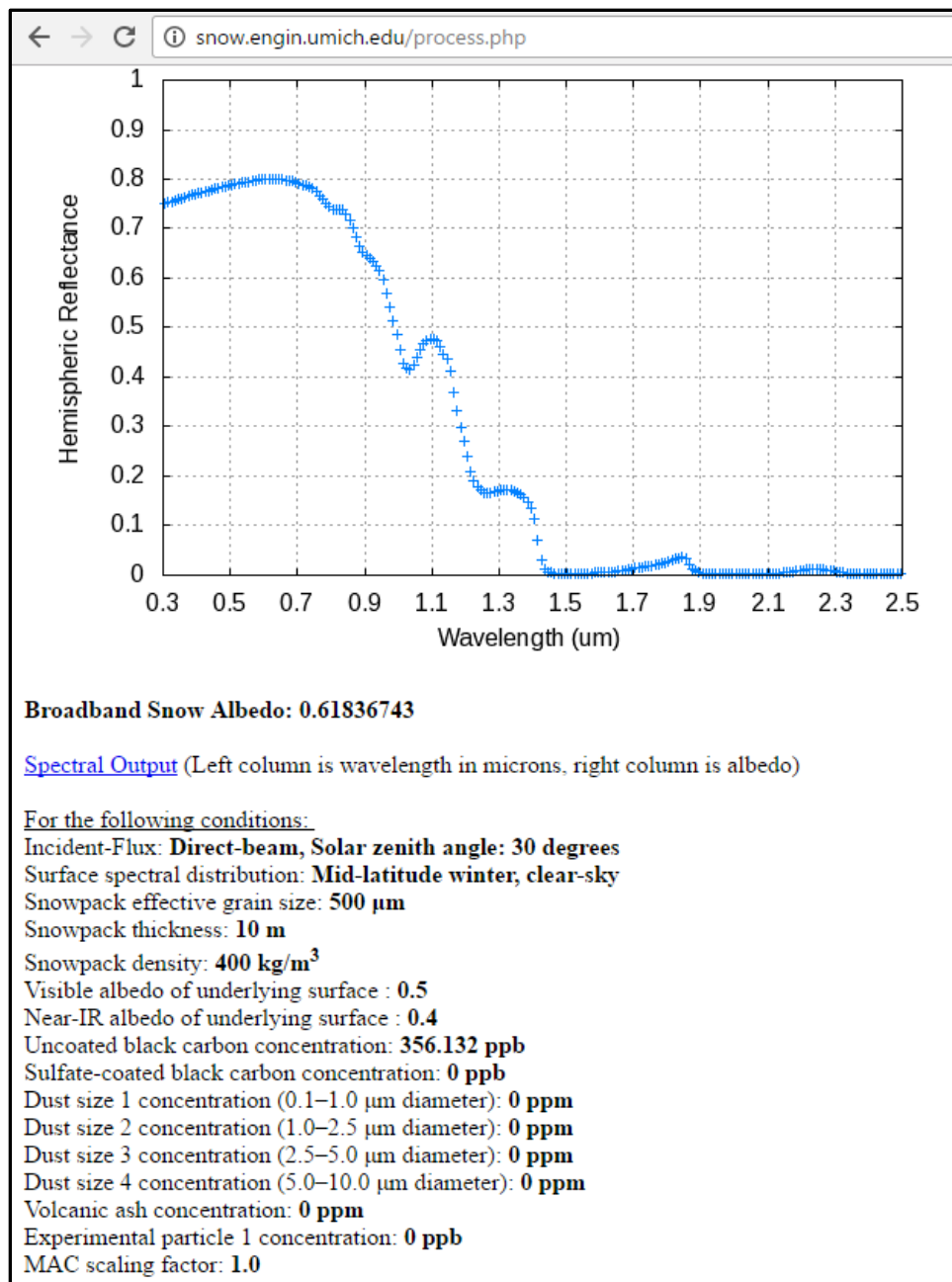


Figura 21: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Yanapaccha.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (356.132 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.61836743.

5.3.1.1. Resultados de SNICAR para el glaciar Yanapaccha

Los resultados de albedo en cada uno de los meses utilizando la simulación SNICAR para el glaciar Yanapaccha son los siguientes:

Glaciar Yanapaccha				
Mes/Año	BC (ng/g)		Albedo de Nieve (0 – 1)	
Base	0.0		0.71069986	
Oct - 2015	10.6566		0.70335841	
Nov - 2015	11.6185		0.70278841	
Dic - 2015	18.5066		0.69900095	
Ene - 2016	205.192		0.64458293	
Feb - 2016	497.547		0.59881604	
Mar - 2016	280.007		0.63067102	
Abr - 2016	zona	Acumulación	95.8146	0.67050880
		Línea de Equilibrio	117.773	0.66450500
		Ablación	398.424	0.61213362
May - 2016	zona	Acumulación	135.678	0.65997410
		Línea de Equilibrio	565.334	0.59055072
		Ablación	814.507	0.56434244
Jun - 2016	zona	Acumulación	161.593	0.65387678
		Línea de Equilibrio	171.237	0.65172541
		Ablación	122.123	0.66337734
Jul - 2016	zona	Acumulación	198.579	0.64592701
		Línea de Equilibrio	224.39	0.64079893
		Ablación	356.132	0.61836743

Tabla 29: Albedo mensual en el glaciar Yanapaccha.

5.3.2. Aplicación de SNICAR para el glaciar Shallap

Ingresa al portal de la simulación SNICAR se procedió a fijar una línea base para el albedo de la nieve sin contenido de carbono negro (BC). De inmediato se ingresó los valores de carbono negro obtenidos para el glaciar Shallap en cada mes de muestreo, para obtener la afectación al albedo de la nieve en este glaciar. A continuación se presenta los resultados obtenidos:

a. Simulación de albedo para el mes de octubre 2015.

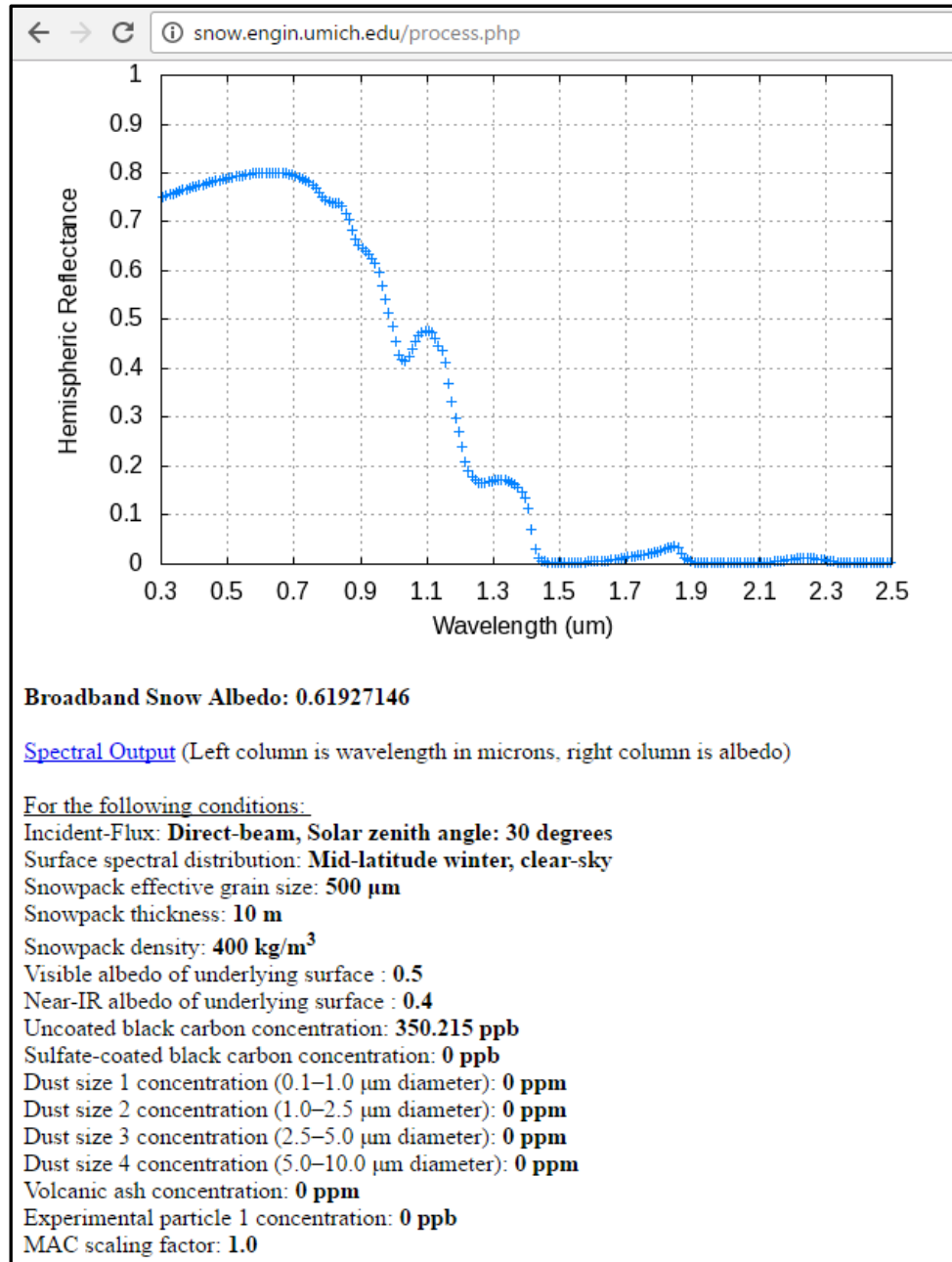


Figura 22: Albedo de nieve para el mes de octubre 2015 para el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (350.215 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.61927146.

b. Simulación de albedo para el mes de noviembre 2015.

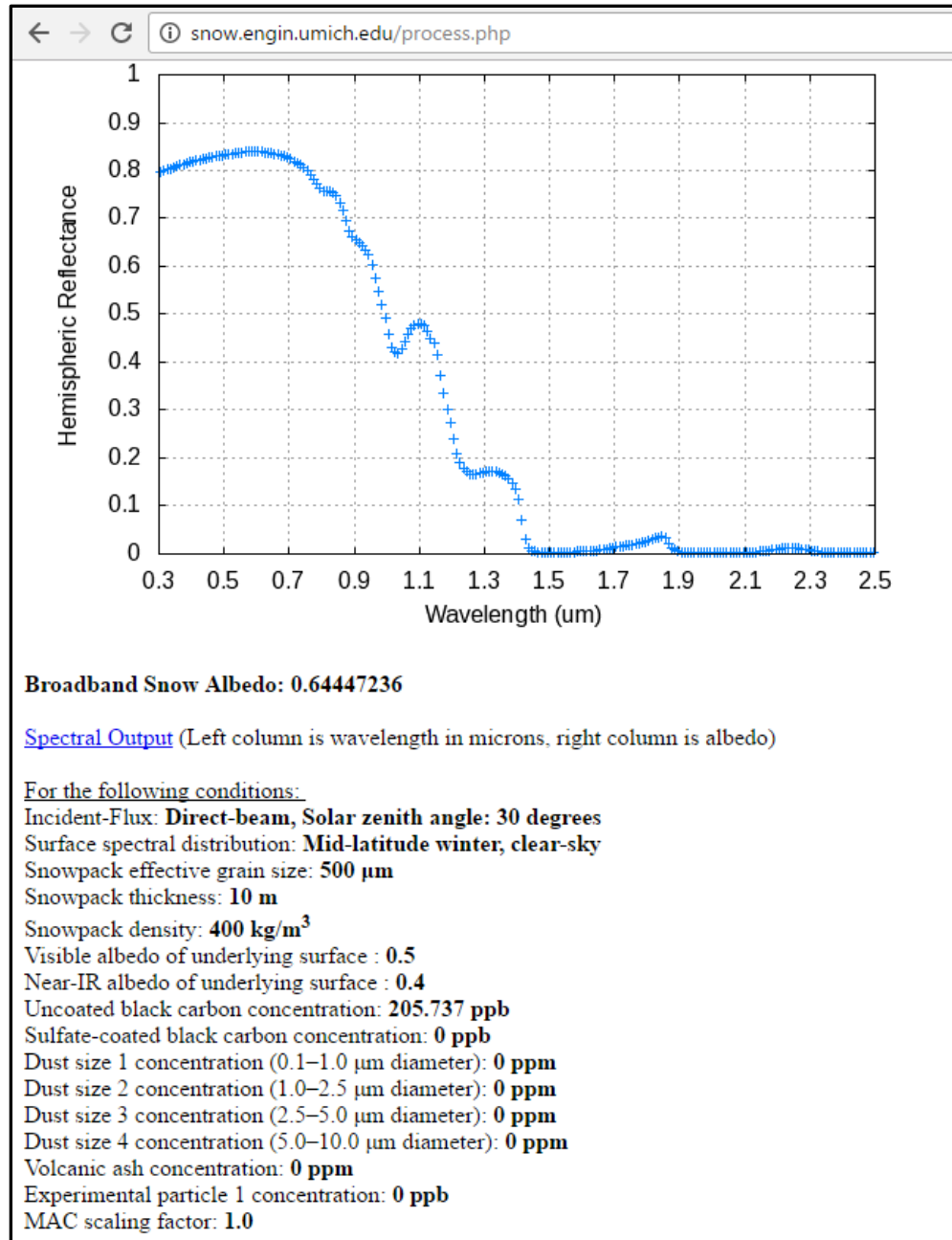


Figura 23: Albedo de nieve para el mes de noviembre 2015 en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (205.737 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.64447236.

c. Simulación de albedo para el mes de diciembre 2015.

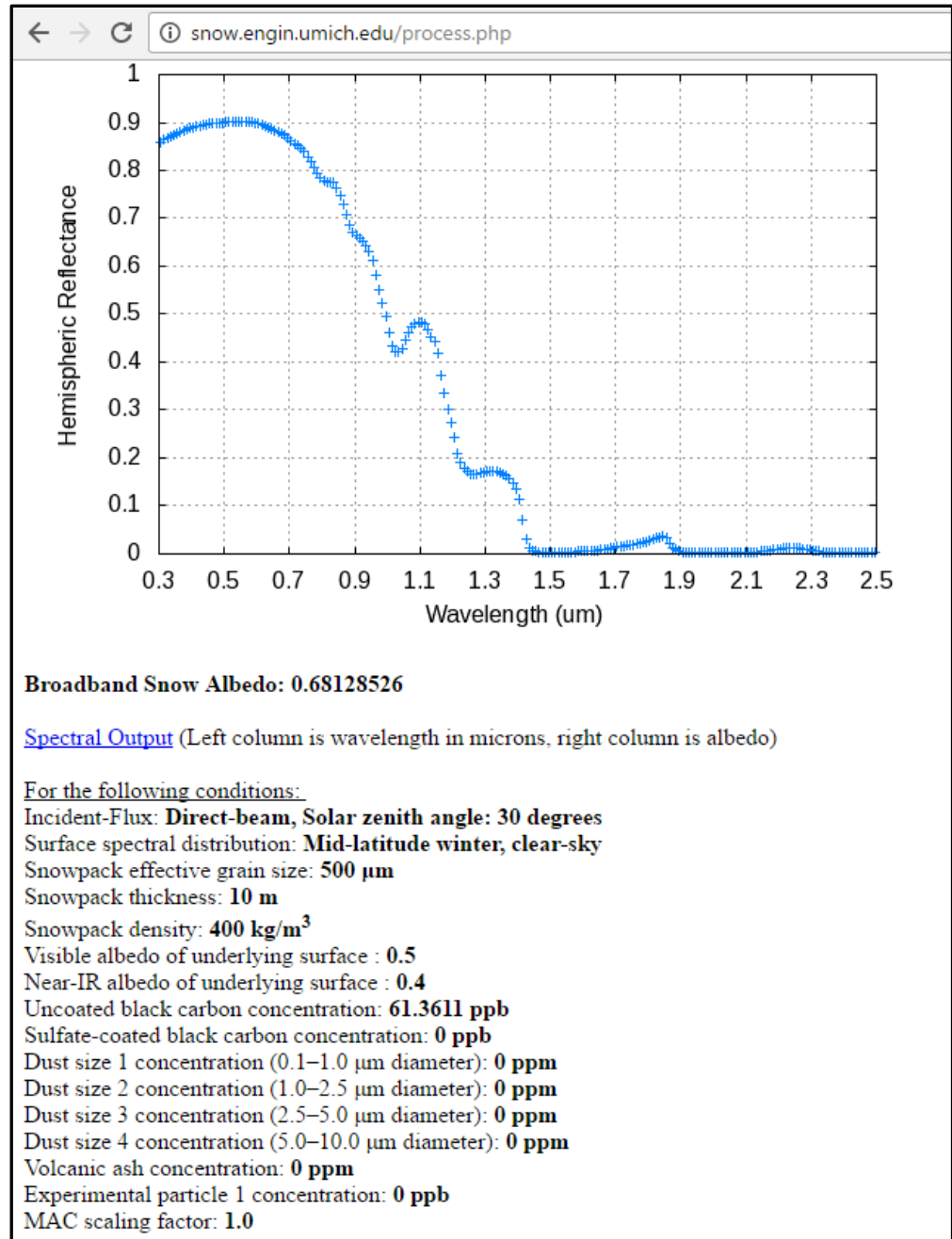


Figura 24: Albedo de nieve para el mes diciembre 2015 en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (61.3611 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.68128526.

d. Simulación de albedo para el mes de enero 2015.

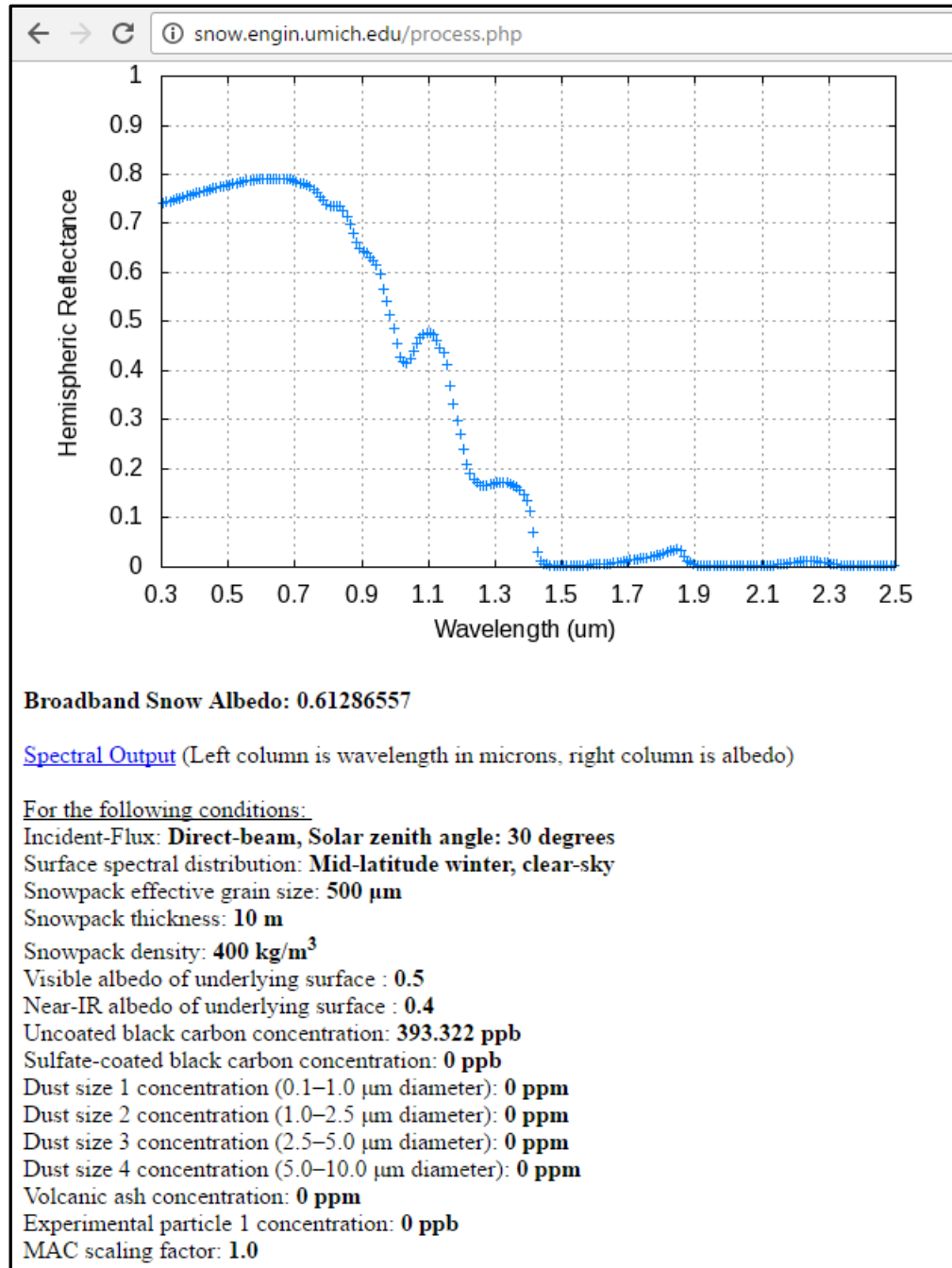


Figura 25: Albedo de nieve para el mes de enero 2016 en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (393.322 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.61286557.

e. Simulación de albedo para el mes febrero 2015.

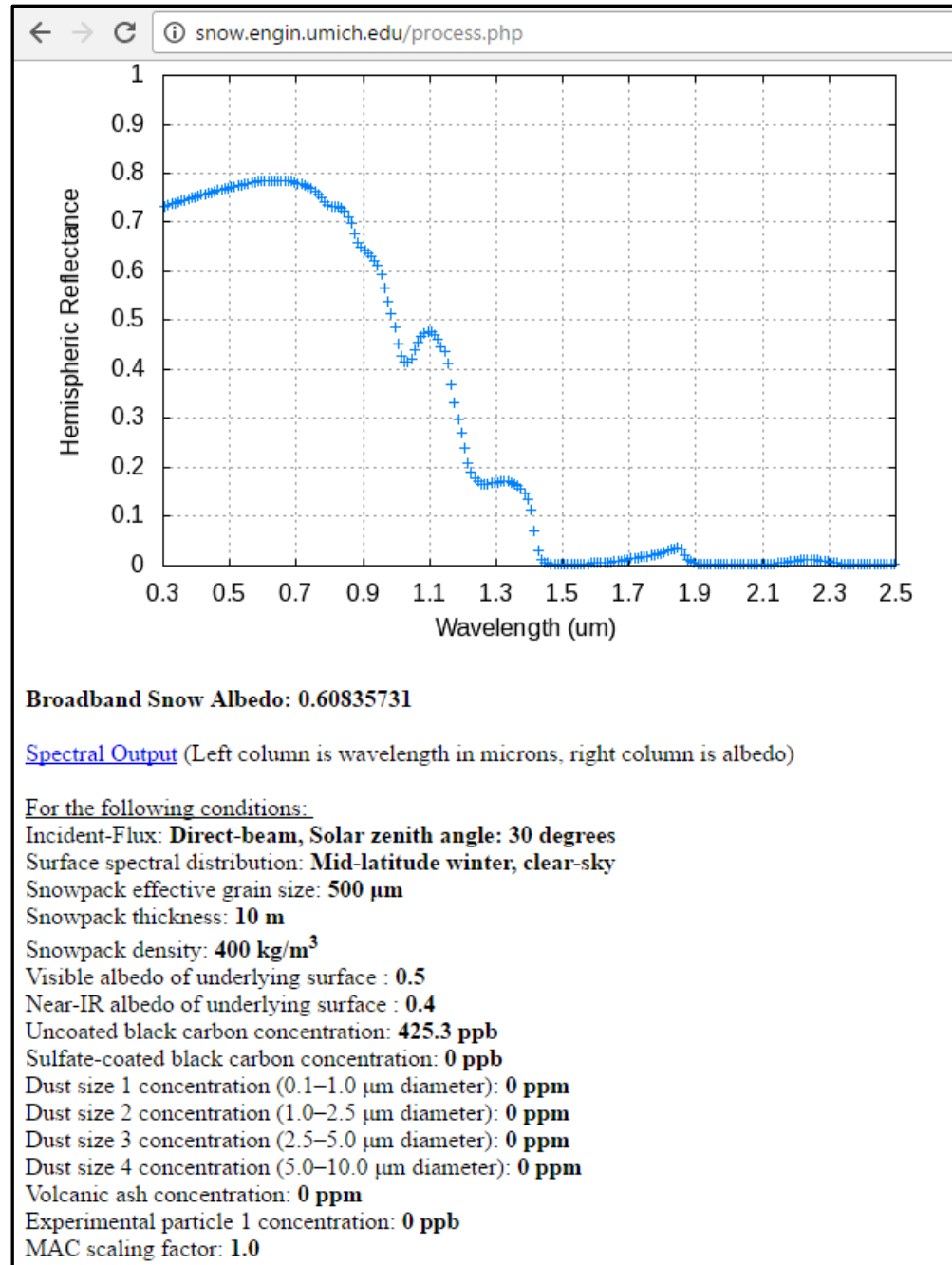


Figura 26: Albedo de nieve para el mes de febrero 2016 en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (425.3 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.60835731.

f. Simulación de albedo para el mes de marzo 2015.

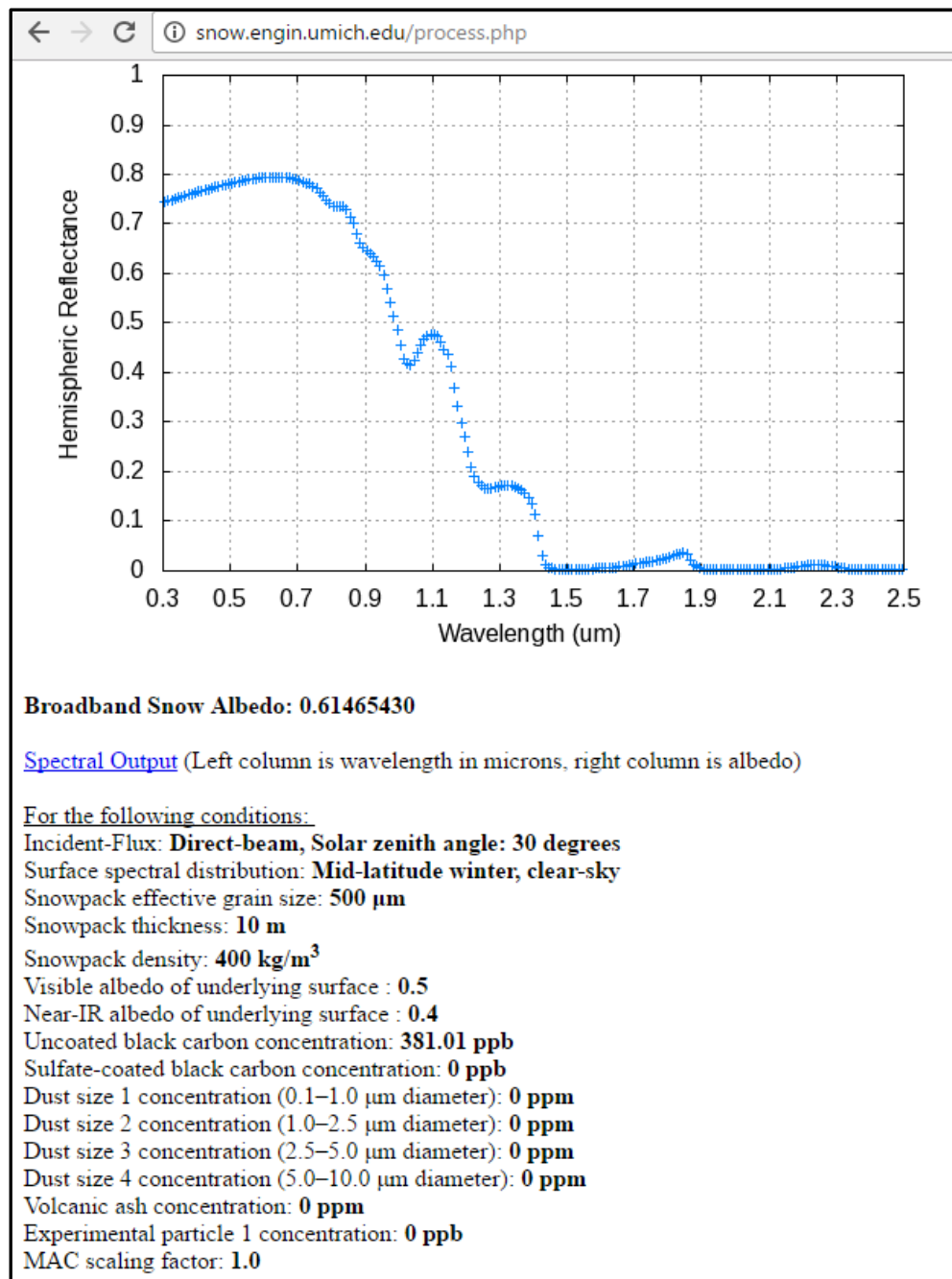


Figura 27: Albedo de nieve para el mes de marzo 2016 en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes (381.01 ng/g) se obtuvo un albedo de 0.61465430.

g. Simulación de albedo para el mes de abril 2016 – zona de acumulación.

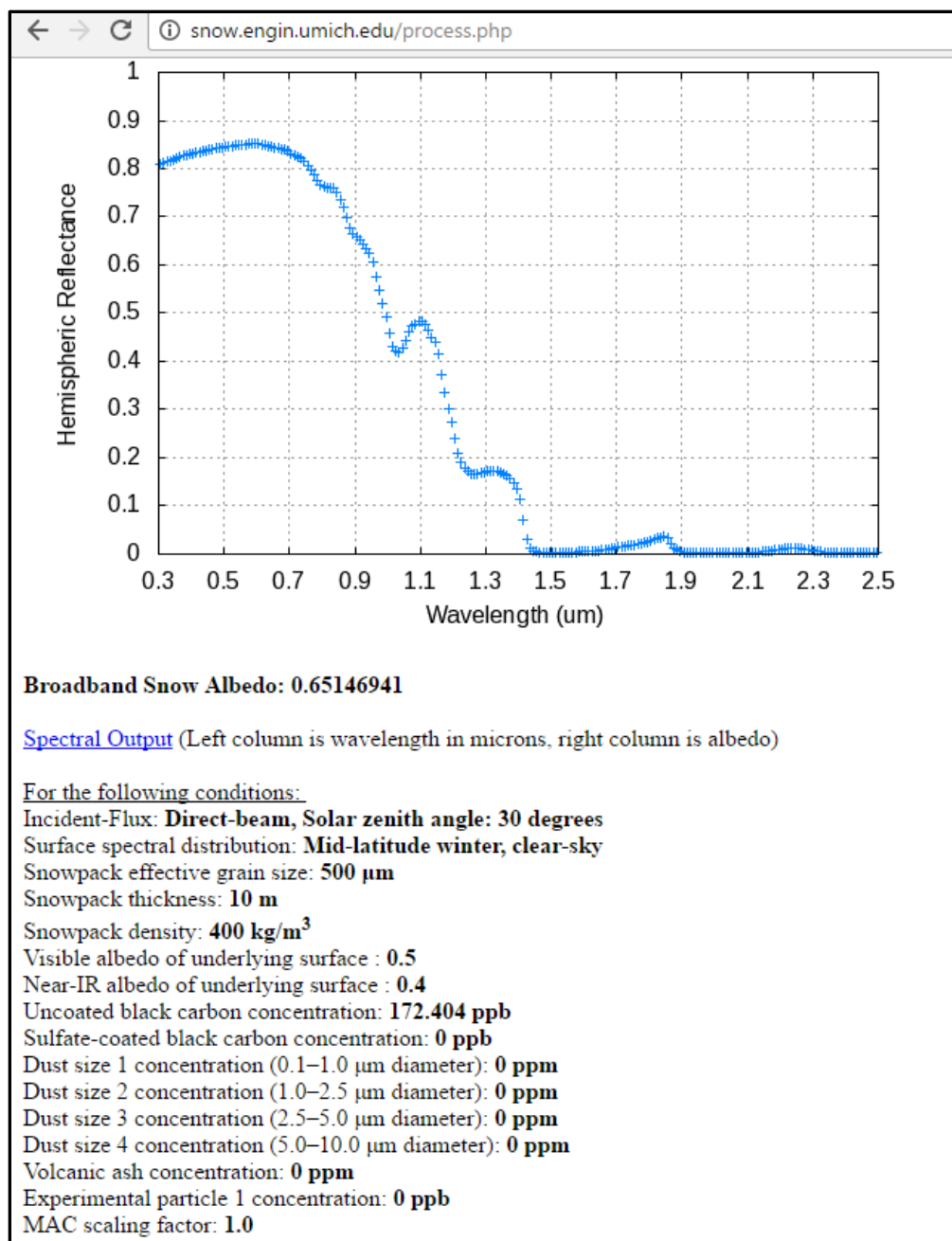


Figura 28: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de acumulación (172.404 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.65146941.

h. Simulación de albedo para mes de abril 2016 - Línea de equilibrio.

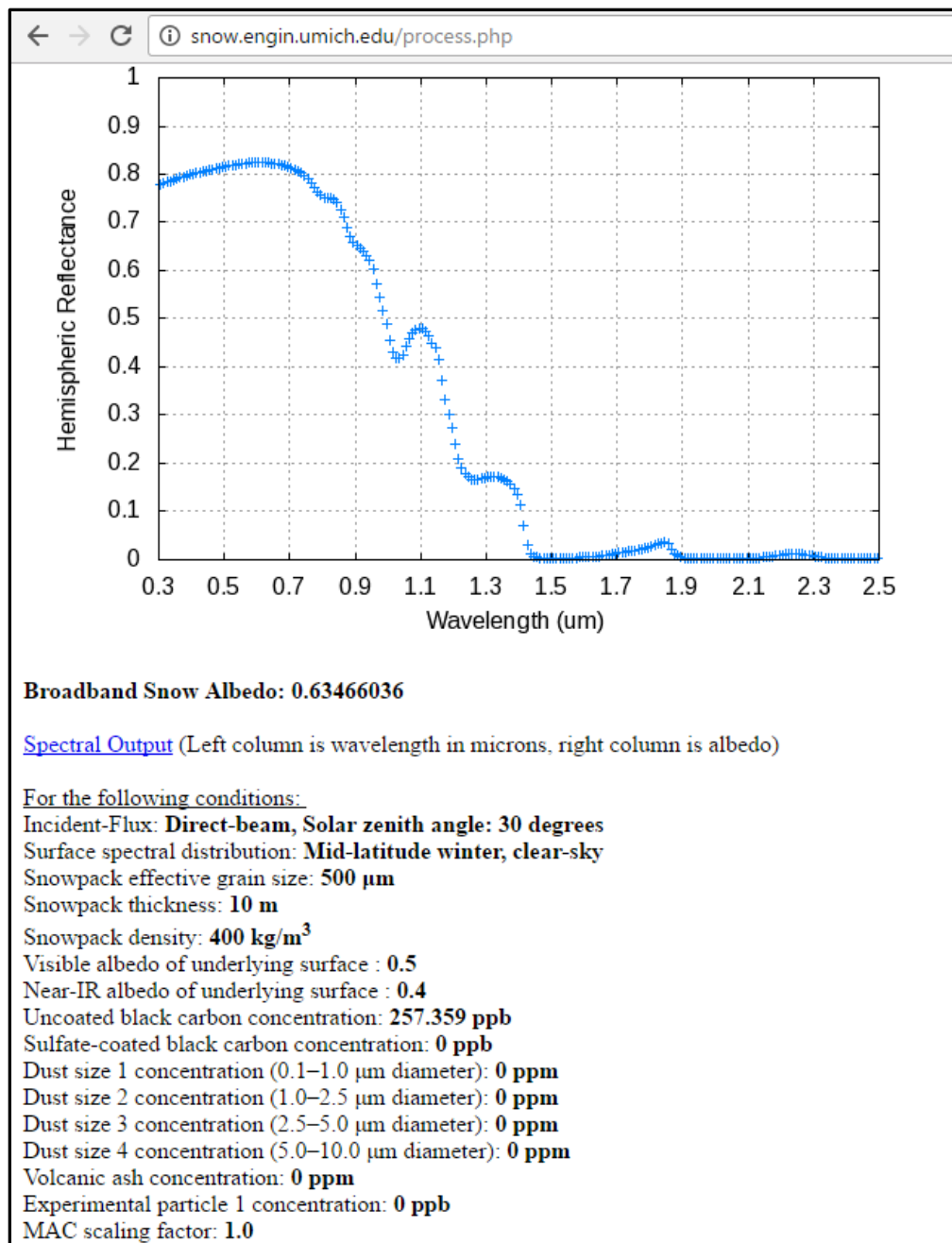


Figura 29: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (257.359 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.63466036.

i. Simulación de albedo para mes de abril 2016 – zona de ablación.

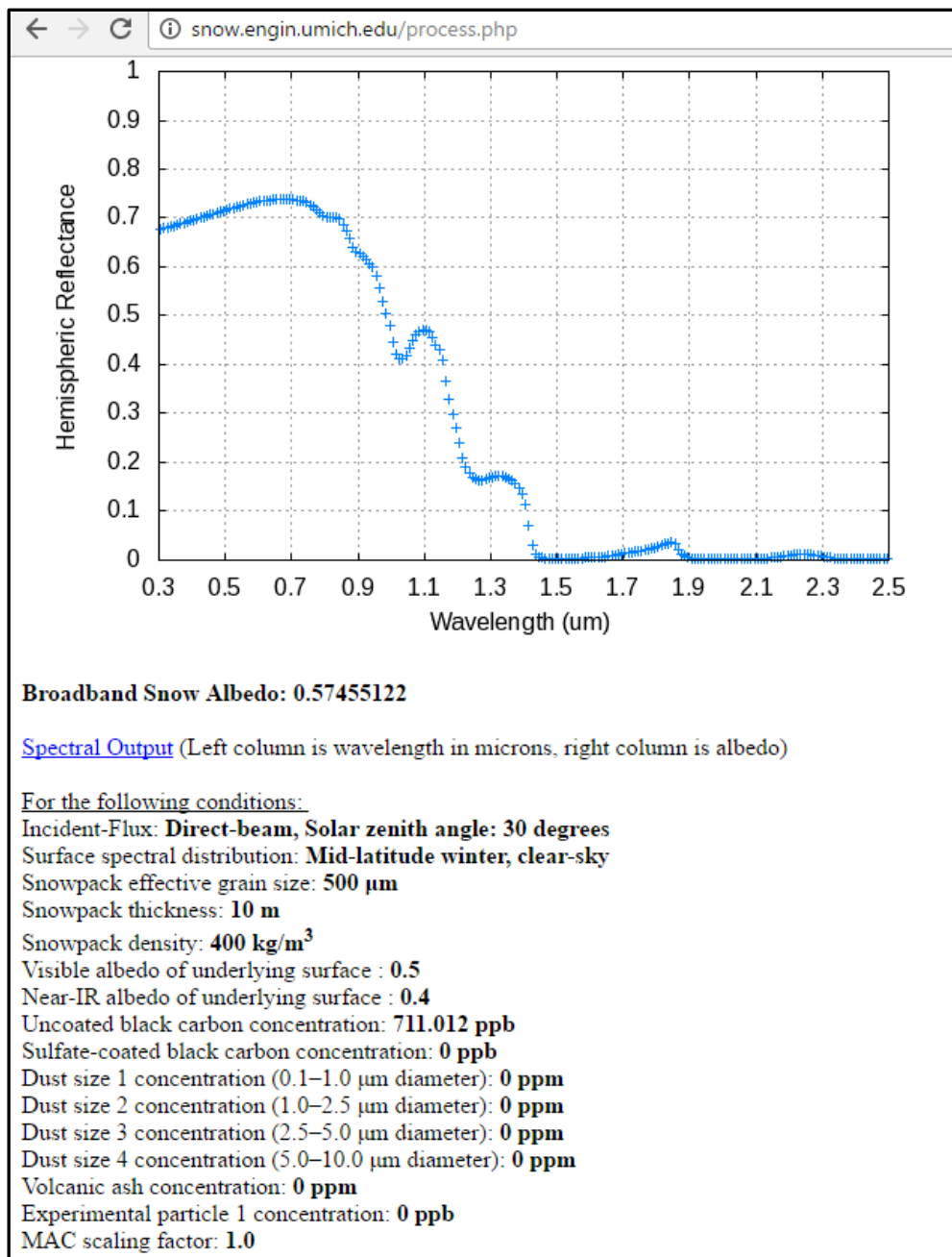


Figura 30: Albedo de nieve para el mes de abril 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (711.012 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.57455122.

j. Simulación de albedo para el mes de mayo 2016 – zona de acumulación.

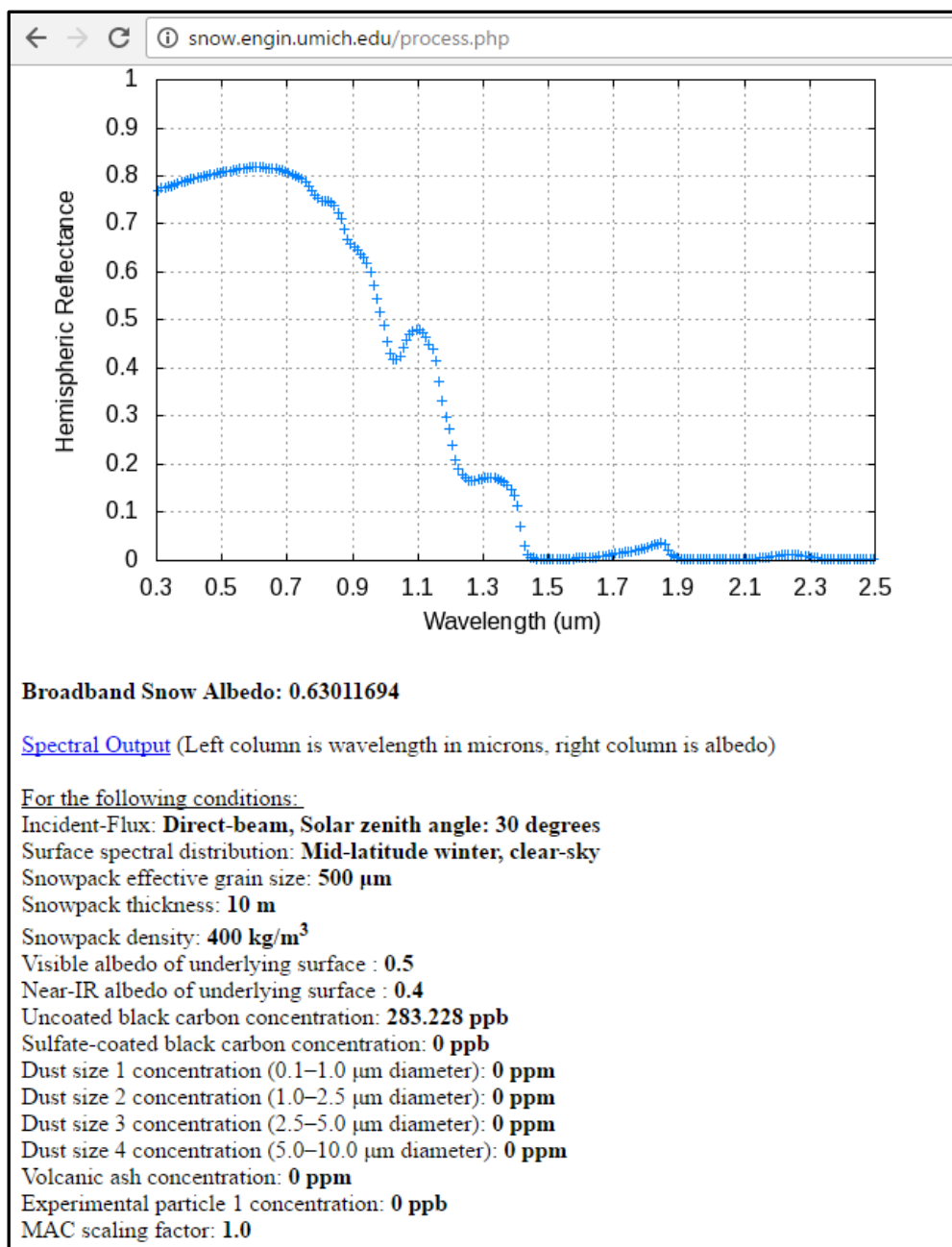


Figura 31: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de acumulación (283.228 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.63011694.

k. Simulación de albedo para mes de mayo 2016 - Línea de equilibrio.

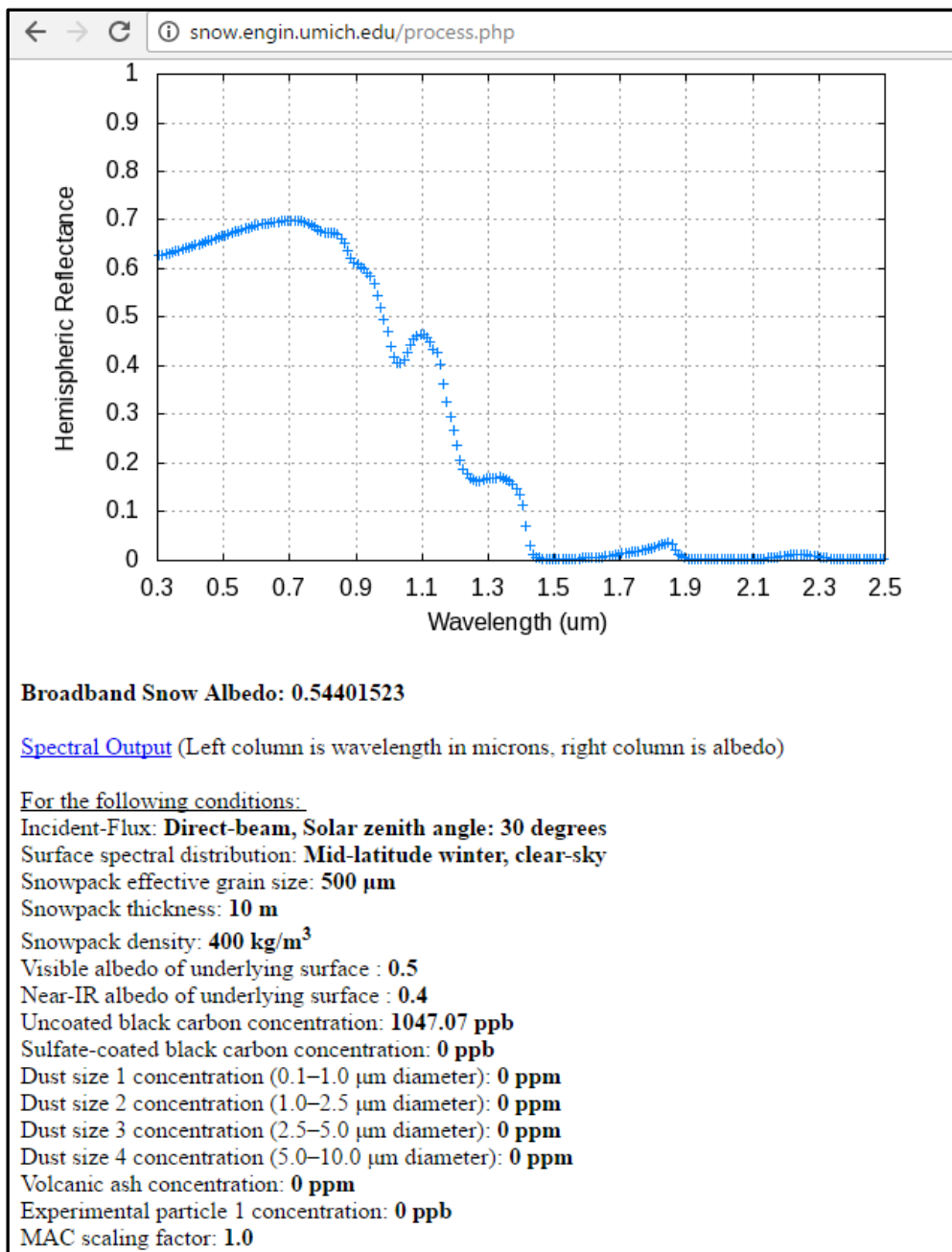


Figura 32: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (1047.07 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.54401523.

I. Simulación de albedo para mes de mayo 2016 – zona de ablación.

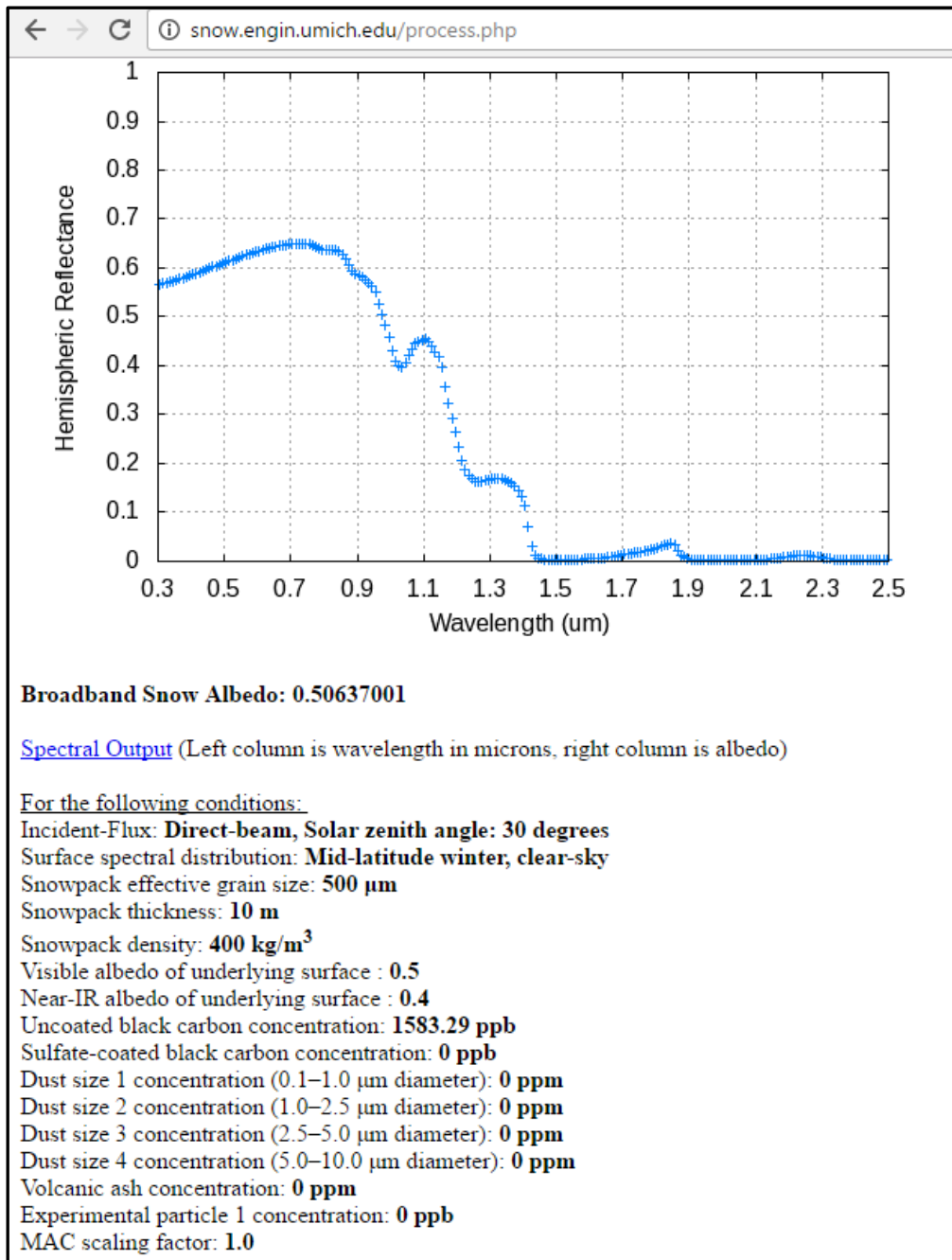


Figura 33: Albedo de nieve para el mes de mayo 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (1583.29 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.50637001.

m. Simulación de albedo para el mes de junio 2016 – zona de acumulación.

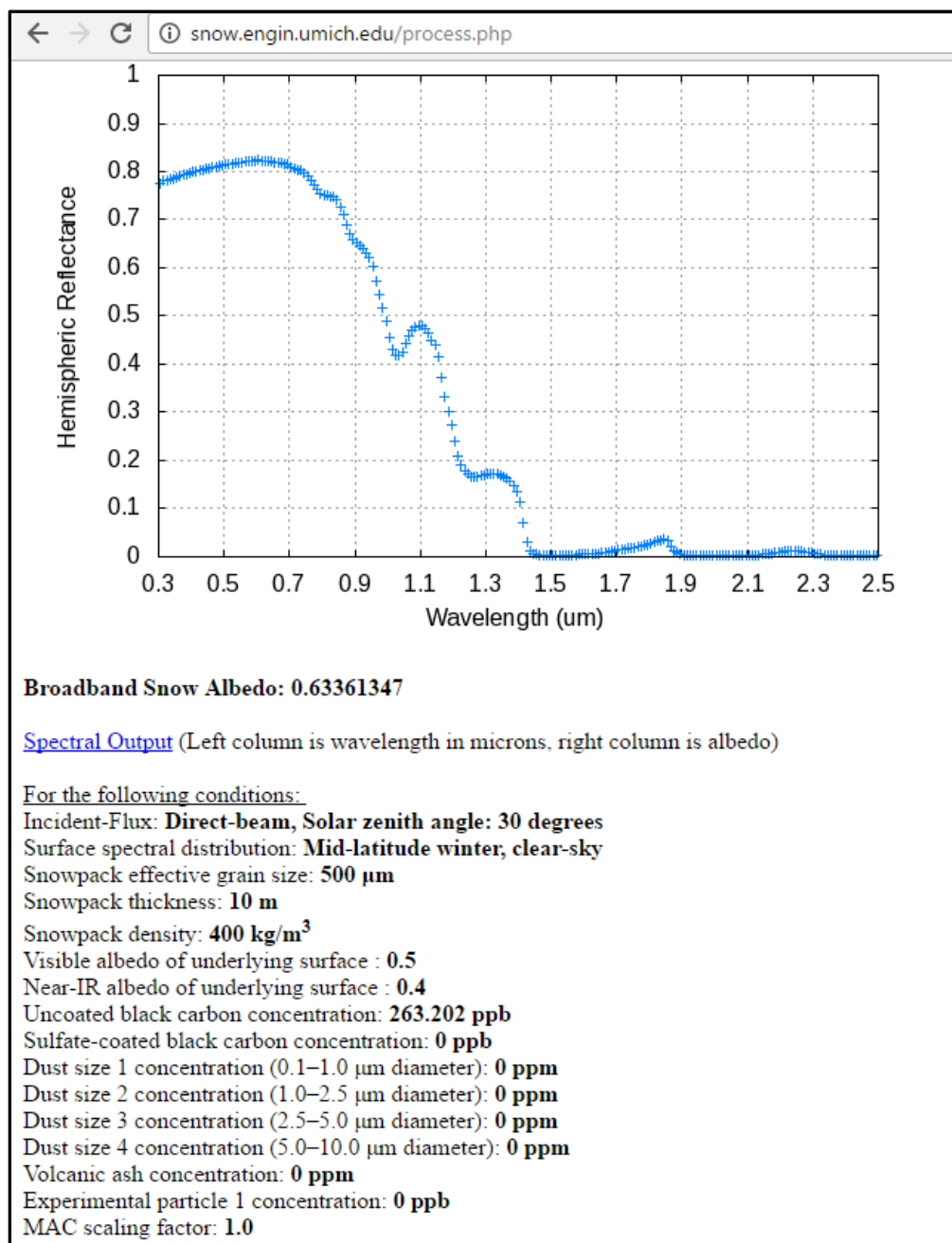


Figura 34: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de acumulación (263.202 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.63361347.

n. Simulación de albedo para mes de junio 2016 - Línea de equilibrio.

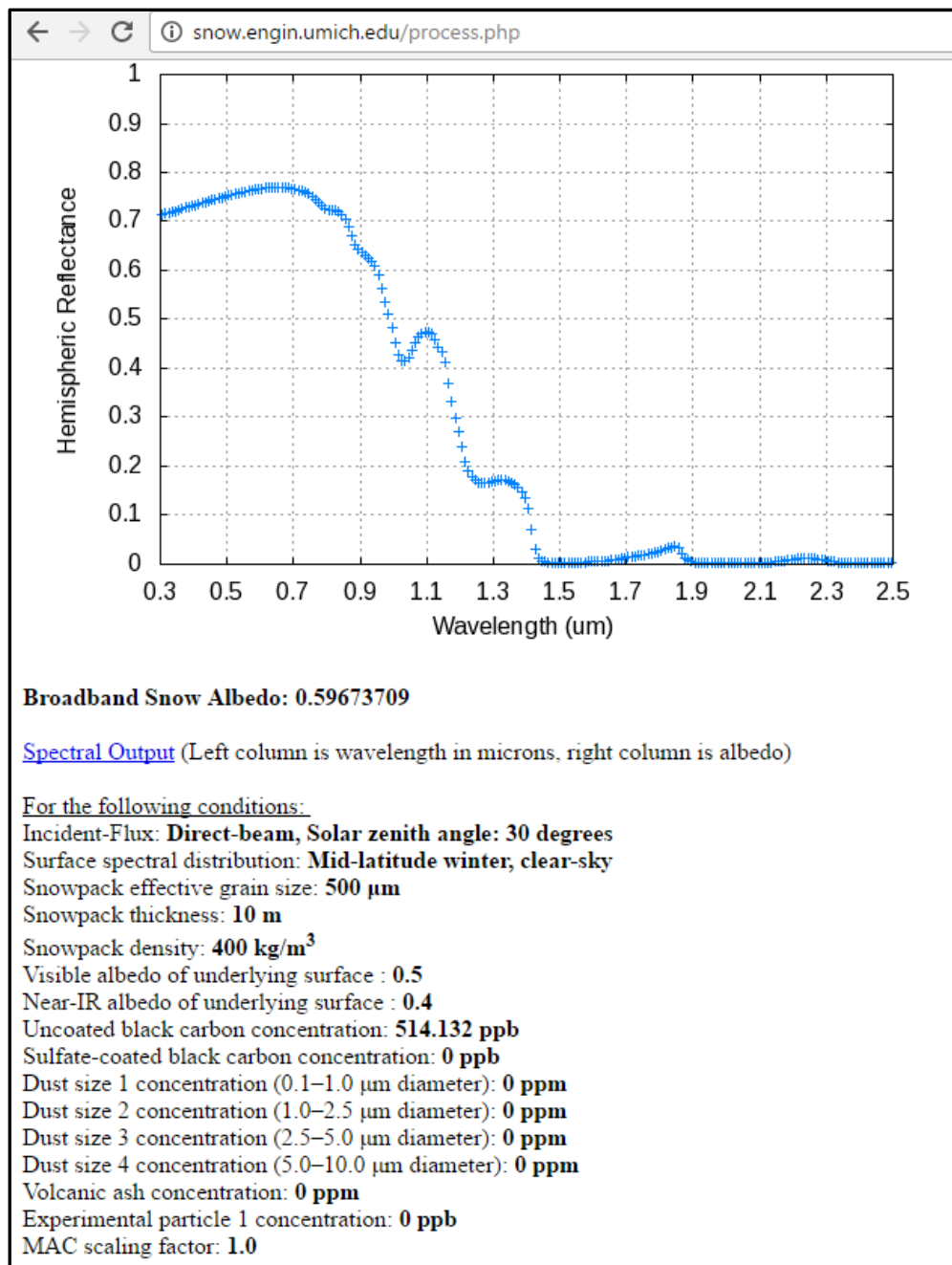


Figura 35: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (514.132 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.59673709.

o. Simulación de albedo para mes de junio 2016 – zona de ablación.

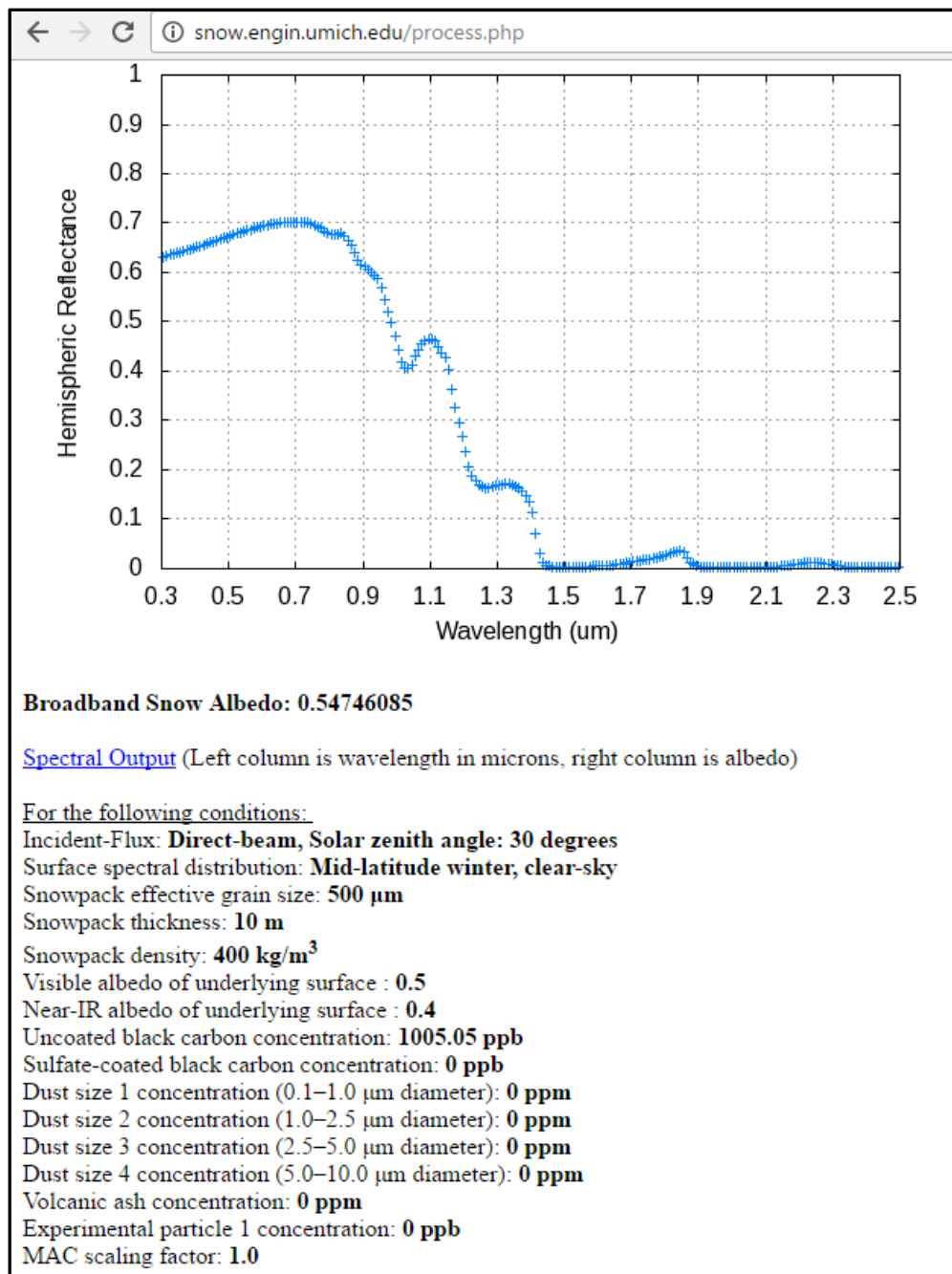


Figura 36: Albedo de nieve para el mes de junio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (1005.05 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.54746085.

p. Simulación de albedo para el mes de julio 2016 – zona de acumulación.

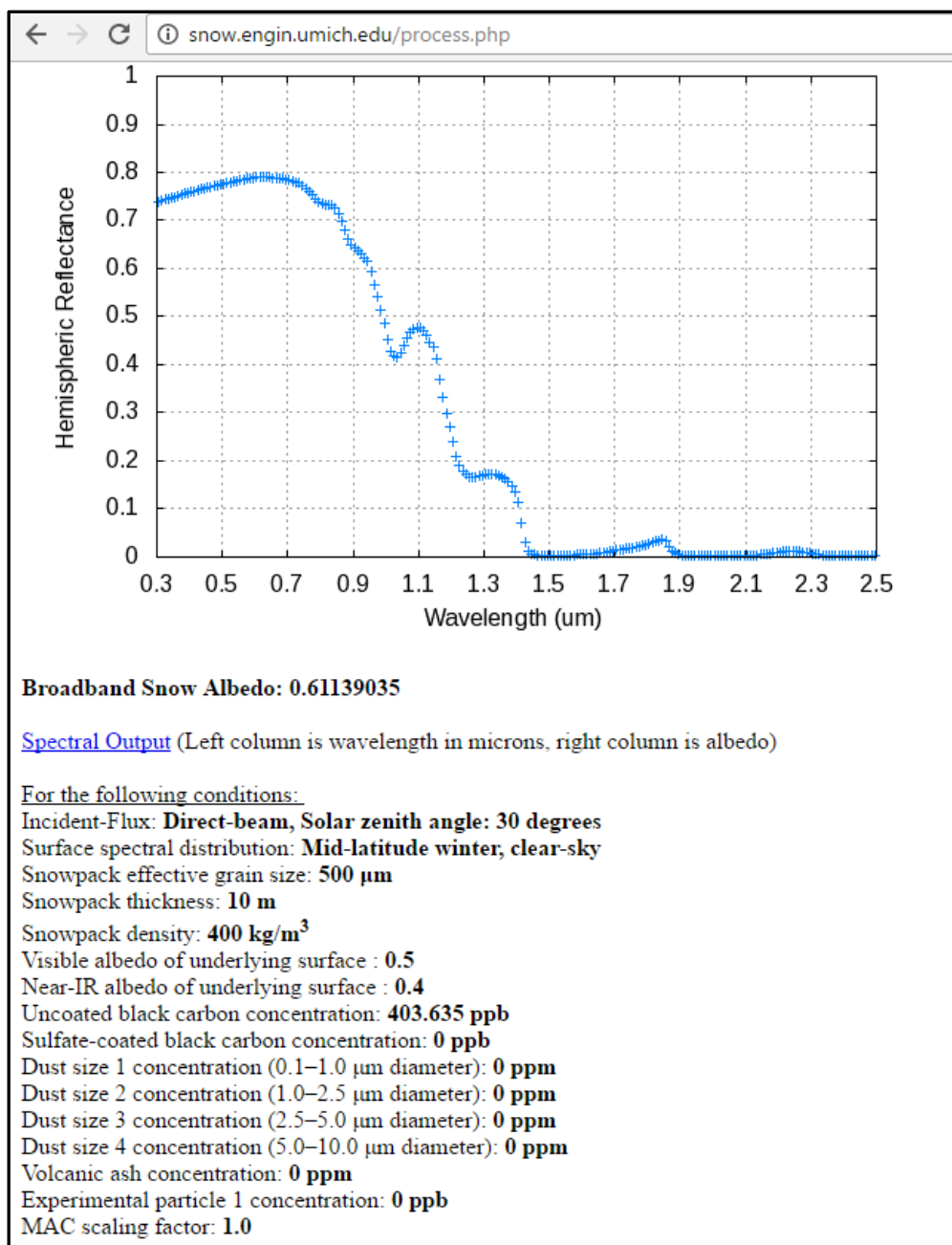


Figura 37: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de acumulación (403.635 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.61139035.

q. Simulación de albedo para mes de julio 2016 - Línea de equilibrio.

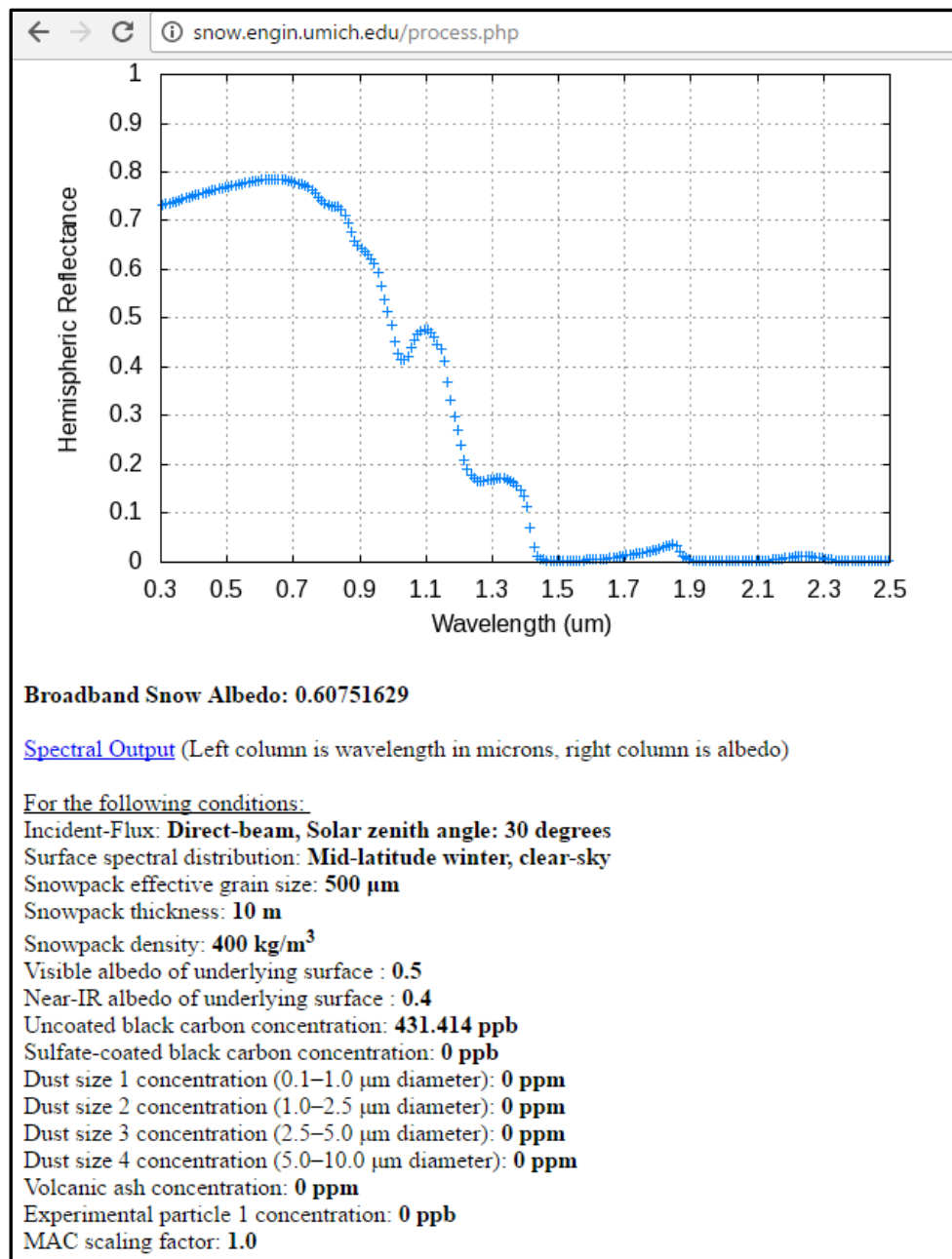


Figura 38: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (431.414 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.60751629.

r. Simulación de albedo para mes de junio 2016 – zona de ablación.

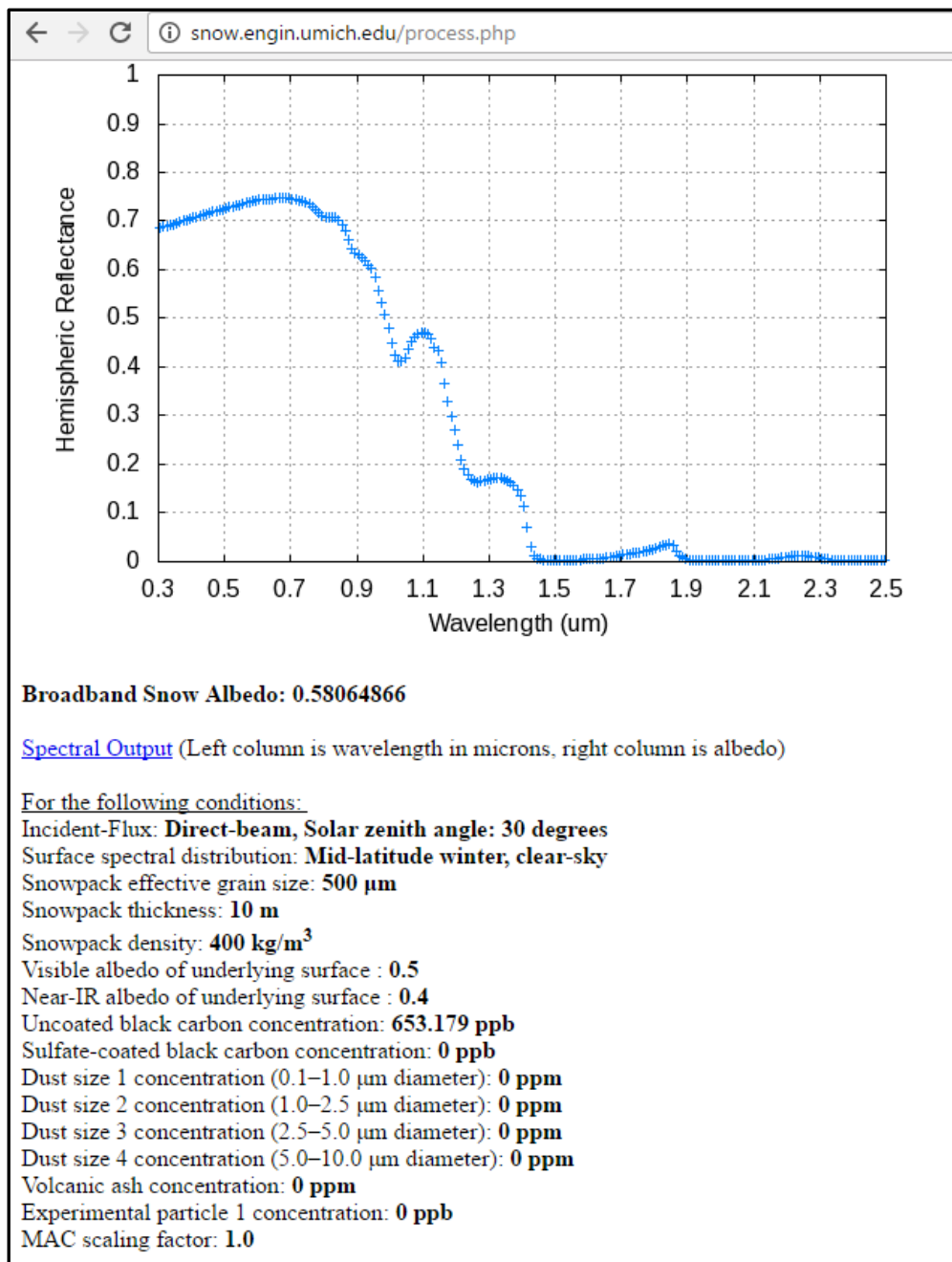


Figura 39: Albedo de nieve para el mes de julio 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (653.179 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.58064866.

s. Simulación de albedo para el mes de agosto 2016 – zona de acumulación.

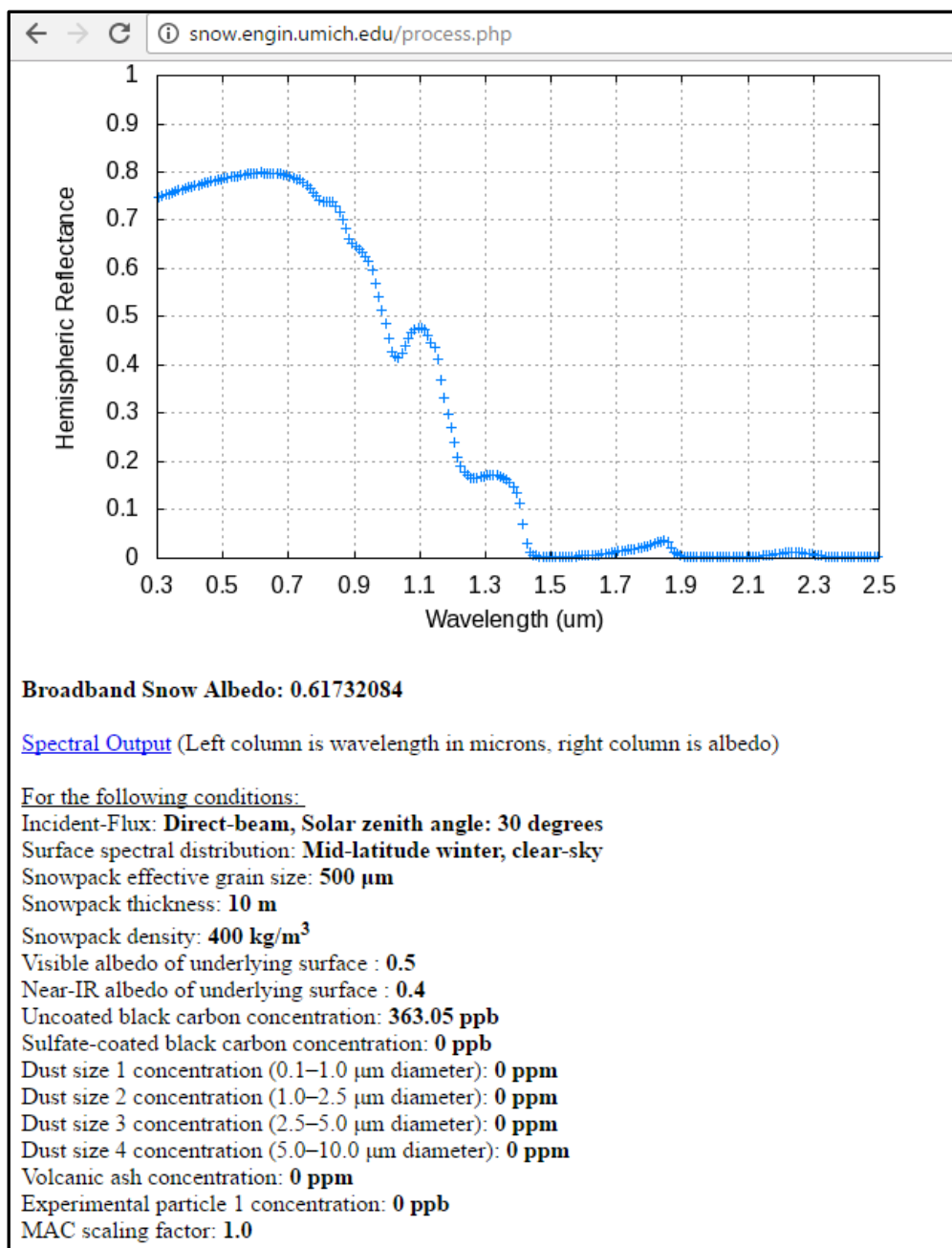


Figura 40: Albedo de nieve para el mes de agosto 2016 para la zona de acumulación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de acumulación (363.05 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.61732084.

t. Simulación de albedo para mes de agosto 2016 - Línea de equilibrio.

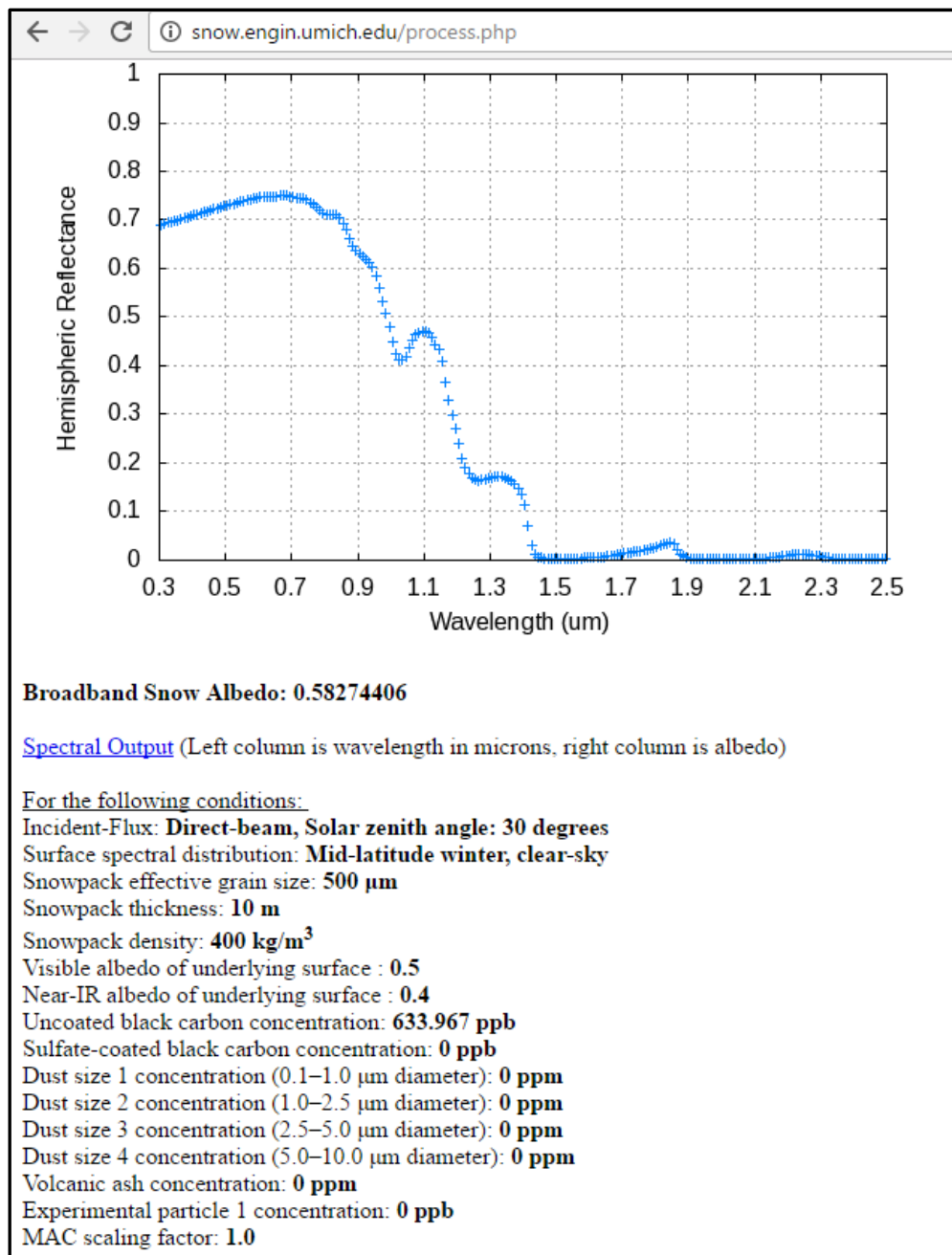


Figura 41: Albedo de nieve para el mes de agosto 2016 para la línea de equilibrio en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la línea de equilibrio (633.967 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.58274406.

u. Simulación de albedo para mes de agosto 2016 – zona de ablación.

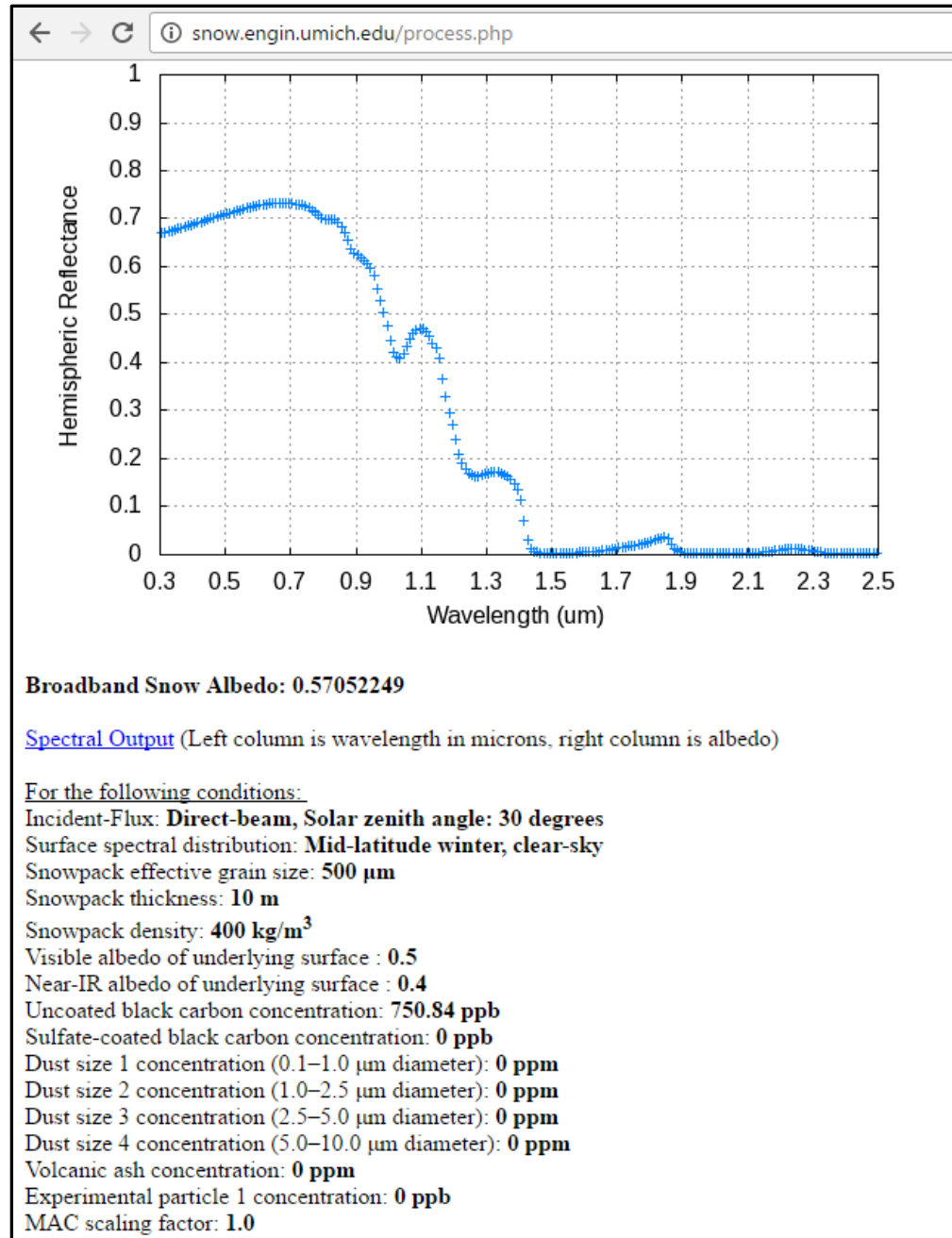


Figura 42: Albedo de nieve para el mes de agosto 2016 para la zona de ablación en el glaciar Shallap.

Ingresando el valor de carbono negro obtenido bajo el método LAHM para este mes en la zona de ablación (750.84 ng/g) donde se obtuvo un albedo de 0.57052249.

5.3.2.1. Resultados de SNICAR para el glaciar Shallap

Los resultados de albedo en cada uno de los meses utilizando la simulación SNICAR para el glaciar Shallap son los siguientes:

Glaciar Shallap				
Mes/Año	BC (ng/g)			Albedo de Nieve (0 – 1)
Base	0.0			0.71069986
Oct - 2015	350.215			0.61927146
Nov - 2015	205.737			0.64447236
Dic - 2015	61.3611			0.68128526
Ene - 2016	393.322			0.61286557
Feb - 2016	425.3			0.60835731
Mar - 2016	381.01			0.61465430
Abr - 2016	zona	Acumulación	172.404	0.65146941
		Línea de Equilibrio	257.359	0.63466036
		Ablación	711.012	0.57455122
May - 2016	zona	Acumulación	283.228	0.63011694
		Línea de Equilibrio	1047.07	0.54401523
		Ablación	1583.29	0.50637001
Jun - 2016	zona	Acumulación	263.202	0.63361347
		Línea de Equilibrio	514.132	0.59673709
		Ablación	1005.05	0.54746085
Jul - 2016	zona	Acumulación	403.635	0.61139035
		Línea de Equilibrio	431.414	0.60751629
		Ablación	653.179	0.58064866
Ago - 2016	zona	Acumulación	363.05	0.61732084
		Línea de Equilibrio	633.967	0.58274406
		Ablación	750.84	0.57052249

Tabla 30: Albedo mensual en el glaciar Shallap.

5.4. Estimación de Nieve Fundida

Una vez obtenidos los datos de carbono negro, los datos de radiación solar y el albedo de la nieve mediante la simulación SNICAR para ambos glaciares se procede con la estimación de la cantidad de nieve que se funde cada mes y en cada zona de los glaciares debido al carbono negro. Para ello se detalla el procedimiento seguido:

5.4.1. Nieve fundida en el glaciar Yanapaccha

a. Determinar la diferencia de albedo obtenido en la simulación SNICAR.

Mes/Año		Albedo Base (BC=0.0 ng/g)	Albedo con BC	Diferencia (Df)
Oct – 2015		0.71069986	0.70335841	0.00734145
Nov – 2015		0.71069986	0.70278841	0.00791145
Dic – 2015		0.71069986	0.69900095	0.01169891
Ene – 2016		0.71069986	0.64458293	0.06611693
Feb – 2016		0.71069986	0.59881604	0.11188382
Mar – 2016		0.71069986	0.63067102	0.08002884
Abr – 2016	Acumulación	0.71069986	0.67050880	0.04019106
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.66450500	0.04619486
	Ablación	0.71069986	0.61213362	0.09856624
May – 2016	Acumulación	0.71069986	0.65997410	0.05072576
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.59055072	0.12014914
	Ablación	0.71069986	0.56434244	0.14635742
Jun – 2016	Acumulación	0.71069986	0.65387678	0.05682308
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.65172541	0.05897445
	Ablación	0.71069986	0.66337734	0.04732252
Jul – 2016	Acumulación	0.71069986	0.64592701	0.06477285
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.64079893	0.06990093
	Ablación	0.71069986	0.61836743	0.09233243

Tabla 31: Diferencia de albedo para el glaciar Yanapaccha.

b. Calcular la cantidad de energía en Joule que llega al glaciar.

Los datos de radiación solar se registran en vatios por metro cuadrado (W/m^2), lo que significa que es en Joule por segundo por metro cuadrado. Necesitamos saber cuántos Joules (energía) llega al glaciar. Por lo tanto, multiplicaremos la energía total por el número 3600 (segundos en una hora). Esto nos dará el número total de energía en Joule por segundo por metro cuadrado ($J/s/m^2$) que llega a la superficie del glaciar para cada mes.

Mes/Año	(ET) Energía Total (W/m ²)	ET*3600 (J.seg/m ²)
Oct – 2015	348500.9979	1254603592
Nov – 2015	303620.3446	1093033241
Dic – 2015	340541.3611	1225948900
Ene – 2016	397205.7936	1429940857
Feb – 2016	301059.5498	1083814379
Mar – 2016	322862.787	1162306033
Abr – 2016	339821.9835	1223359141
May – 2016	353073.4145	1271064292
Jun – 2016	324384.3499	1167783660
Jul – 2016	370388.6068	1333398985

Tabla 32: Cálculo de la energía solar que llega al glaciar Yanpaccha.

c. Determinar la energía absorbida por el carbono negro.

En este paso multiplicamos la diferencia de albedo obtenido en paso (a.) para cada mes y la cantidad de energía convertida en Joule. Esto nos dará la cantidad de energía absorbida por el carbono negro presente en la nieve.

Mes/Año	Diferencia de Albedo (Df)	ET*3600 (J.seg/m ²)	Energía Absorbida por el BC (J.seg/m ²)
Oct – 2015	0.00734145	1254603592	9210609.54
Nov – 2015	0.00791145	1093033241	8647477.83
Dic – 2015	0.01169891	1225948900	14342265.85
Ene – 2016	0.06611693	1429940857	94543299.55
Feb – 2016	0.11188382	1083814379	121261292.94
Mar – 2016	0.08002884	1162306033	93018003.57
Abr – 2016	Acumulación	0.04019106	49168100.63
	Línea de Equilibrio	0.04619486	56512904.24
	Ablación	0.09856624	120581910.67
May - 2016	Acumulación	0.05072576	64475702.24
	Línea de Equilibrio	0.12014914	152717281.61
	Ablación	0.14635742	186029690.48
Jun – 2016	Acumulación	0.05682308	66357064.32
	Línea de Equilibrio	0.05897445	68869399.05
	Ablación	0.04732252	55262465.60
Jul – 2016	Acumulación	0.06477285	86368052.42
	Línea de Equilibrio	0.06990093	93205829.08
	Ablación	0.09233243	123115968.41

Tabla 33: Determinación de energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Yanapaccha.

d. Nieve fundida a causa del carbono negro.

Paso seguido dividimos la energía absorbida por el carbono negro entre el número 336000, esta valor es la energía en Joule que se requiere para convertir un kilogramo de nieve en agua (energía de fusión). De esta manera obtenemos el número de kilogramos de nieve fundida por metro cuadrado en el glaciar Yanapaccha.

Mes/Año		Energía Absorbida por el BC (J/m ²)	Energía de Fusión (Joule)	Nieve fundida por el BC (kg/m ²)
Oct – 2015		9210609.54	336000	27.41
Nov – 2015		8647477.83	336000	25.74
Dic – 2015		14342265.85	336000	42.69
Ene – 2016		94543299.55	336000	281.38
Feb – 2016		121261292.94	336000	360.90
Mar – 2016		93018003.57	336000	276.84
Abr - 2016	Acumulación	49168100.63	336000	146.33
	Línea de Equilibrio	56512904.24	336000	168.19
	Ablación	120581910.67	336000	358.87
May – 2016	Acumulación	64475702.24	336000	191.89
	Línea de Equilibrio	152717281.61	336000	454.52
	Ablación	186029690.48	336000	553.66
Jun – 2016	Acumulación	66357064.32	336000	197.49
	Línea de Equilibrio	68869399.05	336000	204.97
	Ablación	55262465.60	336000	164.47
Jul – 2016	Acumulación	86368052.42	336000	257.05
	Línea de Equilibrio	93205829.08	336000	277.40
	Ablación	123115968.41	336000	366.42

Tabla 34: Estimación de nieve fundida por el carbono negro en el glaciar Yanapaccha.

5.4.2. Nieve fundida en el glaciar Shallap

a. Determinar la diferencia de albedo obtenido en la simulación SNICAR.

Mes/Año	Albedo Base (BC=0.0 ng/g)	Albedo con BC	Diferencia (Df)
Oct – 2015	0.71069986	0.61927146	0.0914284
Nov – 2015	0.71069986	0.64447236	0.0662275
Dic – 2015	0.71069986	0.68128526	0.0294146
Ene – 2016	0.71069986	0.61286557	0.09783429
Feb – 2016	0.71069986	0.60835731	0.10234255

Mar – 2016		0.71069986	0.61465430	0.09604556
Abr – 2016	Acumulación	0.71069986	0.65146941	0.05923045
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.63466036	0.0760395
	Ablación	0.71069986	0.57455122	0.13614864
May – 2016	Acumulación	0.71069986	0.63011694	0.08058292
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.54401523	0.16668463
	Ablación	0.71069986	0.50637001	0.20432985
Jun – 2016	Acumulación	0.71069986	0.63361347	0.07708639
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.59673709	0.11396277
	Ablación	0.71069986	0.54746085	0.16323901
Jul – 2016	Acumulación	0.71069986	0.61139035	0.09930951
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.60751629	0.10318357
	Ablación	0.71069986	0.58064866	0.1300512
Ago - 2016	Acumulación	0.71069986	0.61732084	0.09337902
	Línea de Equilibrio	0.71069986	0.58274406	0.1279558
	Ablación	0.71069986	0.57052249	0.14017737

Tabla 35: Diferencia de albedo para el glaciar Shallap.

b. Calcular la cantidad de energía en Joule que llega al glaciar.

Los datos de radiación solar se registran en vatios por metro cuadrado (W/m^2), lo que significa que es en Joule por segundo por metro cuadrado. Necesitamos saber cuántos Joules (energía) llega al glaciar. Por lo tanto, multiplicaremos la energía total por el número 3600 (segundos en una hora). Esto nos dará el número total de energía en Joule por segundo por metro cuadrado ($J.seg/m^2$) que llega a la superficie del glaciar para cada mes.

Mes/Año	(ET) Energía Total (W/m^2)	ET*3600 ($J.seg/m^2$)
Oct – 2015	377870.6332	1360334280
Nov – 2015	306620.1766	1103832636
Dic – 2015	331259.5288	1192534304
Ene – 2016	378934.4806	1364164130
Feb – 2016	309243.4727	1113276502
Mar – 2016	335525.3126	1207891125
Abr – 2016	322063.3876	1159428195
May – 2016	333760.7393	1201538661
Jun – 2016	318869.9967	1147931988
Jul – 2016	383196.0868	1379505912
Ago – 2016	370242.1215	1332871637

Tabla 36: Conversión de unidad de la energía para el glaciar Shallap.

c. Determinar la energía absorbida por el carbono negro

En este paso multiplicamos la diferencia de albedo obtenido en paso (a.) para cada mes y la cantidad de energía convertida en Joule. Esto nos dará la cantidad de energía absorbida por el carbono negro en la nieve.

Mes/Año		Diferencia de Albedo (Df)	ET*3600 (J.seg/m ²)	Energía Absorbida por el BC (J.seg/m ²)
Oct – 2015		0.09142840	1360334280	124373186.64
Nov – 2015		0.06622750	1103832636	73104075.89
Dic – 2015		0.02941460	1192534304	35077919.53
Ene – 2016		0.09783429	1364164130	133462029.11
Feb – 2016		0.10234255	1113276502	113935556.03
Mar – 2016		0.09604556	1207891125	116012579.55
Abr – 2016	Acumulación	0.05923045	1159428195	68673453.76
	Línea de Equilibrio	0.07603950	1159428195	88162340.27
	Ablación	0.13614864	1159428195	157854571.99
May – 2016	Acumulación	0.08058292	1201538661	96823493.83
	Línea de Equilibrio	0.16668463	1201538661	200278027.21
	Ablación	0.20432985	1201538661	245510214.46
Jun – 2016	Acumulación	0.07708639	1147931988	88489932.92
	Línea de Equilibrio	0.11396277	1147931988	130821509.13
	Ablación	0.16323901	1147931988	187387281.27
Jul – 2016	Acumulación	0.09930951	1379505912	136998056.21
	Línea de Equilibrio	0.10318357	1379505912	142342344.89
	Ablación	0.13005120	1379505912	179406399.33
Ago – 2016	Acumulación	0.09337902	1332871637	124462247.27
	Línea de Equilibrio	0.12795580	1332871637	170548656.64
	Ablación	0.14017737	1332871637	186838440.65

Tabla 37: Determinación de energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Shallap.

d. Nieve fundida a causa del carbono negro

Paso seguido dividimos la energía absorbida por el carbono negro entre el número 336000, esta valor es la energía en Joule que se requiere para convertir un kilogramo de nieve en agua (energía de fusión). De esta manera obtenemos el número de kilogramos de nieve fundida por metro cuadrado en el glaciar Shallap.

Mes/Año		Energía Absorbida por el BC (J.seg/m ²)	Energía de Fusión (Joule)	Nieve fundida por el BC (kg/m ²)
Oct – 2015		124373186.64	336000	370.16
Nov – 2015		73104075.89	336000	217.57
Dic – 2015		35077919.53	336000	104.40
Ene – 2016		133462029.11	336000	397.21
Feb – 2016		113935556.03	336000	339.09
Mar – 2016		116012579.55	336000	345.28
Abr – 2016	Acumulación	68673453.76	336000	204.39
	Línea de Equilibrio	88162340.27	336000	262.39
	Ablación	157854571.99	336000	469.81
May – 2016	Acumulación	96823493.83	336000	288.17
	Línea de Equilibrio	200278027.21	336000	596.07
	Ablación	245510214.46	336000	730.69
Jun – 2016	Acumulación	88489932.92	336000	263.36
	Línea de Equilibrio	130821509.13	336000	389.35
	Ablación	187387281.27	336000	557.70
Jul – 2016	Acumulación	136998056.21	336000	407.73
	Línea de Equilibrio	142342344.89	336000	423.64
	Ablación	179406399.33	336000	533.95
Ago – 2016	Acumulación	124462247.27	336000	370.42
	Línea de Equilibrio	170548656.64	336000	507.59
	Ablación	186838440.65	336000	556.07

Tabla 38: Estimación de nieve fundida por el carbono negro en el glaciar Shallap.

Para comprender mejor el procedimiento de obtención de la cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro en cada glaciar se presenta dos tablas con la secuencia de cálculos realizados para este fin.

ESTIMACIÓN DE NIEVE FUNDIDA A CAUSA DEL CARBONO NEGRO PARA EL GLACIAR YANAPACCHA						
Mes/Año	Carbon Negro - BC (ng/g)	Radiación Solar (W/m2)	Radiación Solar (J.seg/m2)	Diferencia - Albedo	Energía Absorbida por BC (Joules)	Nieve Fundida por BC (Kg/m2)
oct-15	10.6566	348500.9979	1254603592	0.00734145	9210609.54	27.41
nov-15	11.6185	303620.3446	1093033241	0.00791145	8647477.83	25.74
dic-15	18.5066	340541.3611	1225948900	0.01169891	14342265.85	42.69
ene-16	205.192	397205.7936	1429940857	0.06611693	94543299.55	281.38
feb-16	497.547	301059.5498	1083814379	0.11188382	121261292.94	360.90
mar-16	280.007	322862.787	1162306033	0.08002884	93018003.57	276.84
abr-16	95.8146	339821.9835	1223359141	0.04019106	49168100.63	146.33
	117.773	339821.9835	1223359141	0.04619486	56512904.24	168.19
	398.424	339821.9835	1223359141	0.09856624	120581910.67	358.87
may-16	135.678	353073.4145	1271064292	0.05072576	64475702.24	191.89
	565.334	353073.4145	1271064292	0.12014914	152717281.61	454.52
	814.507	353073.4145	1271064292	0.14635742	186029690.48	553.66
jun-16	161.593	324384.3499	1167783660	0.05682308	66357064.32	197.49
	171.237	324384.3499	1167783660	0.05897445	68869399.05	204.97
	122.123	324384.3499	1167783660	0.04732252	55262465.60	164.47
jul-16	198.579	370388.6068	1333398985	0.06477285	86368052.42	257.05
	224.39	370388.6068	1333398985	0.06990093	93205829.08	277.40
	356.132	370388.6068	1333398985	0.09233243	123115968.41	366.42

Tabla 39: Secuencia de cálculos realizados para estimar la cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Yanapaccha.

Hasta el mes de marzo 2016 se recolectaron muestras a una altitud cercana a los 5000 m.s.n.m. a partir del mes de abril 2016 se recolectaron muestras en cada zona del glaciar (incluida la línea de equilibrio), el mismo valor de radiación solar se considera para cada zona del glaciar en los meses de abril, mayo, junio y julio; sin embargo por las distintas masas de carbono negro en cada zona del glaciar se obtuvo diferentes valores de diferencia de albedo, energía absorbida y nieve fundida por el carbono negro. La masa de carbono negro y la nieve fundida son directamente proporcionales, cuando la masa de carbono negro es mayor la cantidad de nieve fundida es mayor y de manera viceversa si la masa de carbono negro es menor la cantidad también es menor. El aumento del carbono negro está ligado a la falta de precipitaciones sólidas, una menor humedad relativa en la atmósfera (el carbono negro actúa como núcleos de condensación) al no encontrar humedad estas partículas persisten en la atmósfera que se transportan a los glaciares por los vientos.

ESTIMACIÓN DE NIEVE FUNDIDA A CAUSA DEL CARBONO NEGRO PARA EL GLACIAR SHALLAP						
Mes/Año	Carbon Negro - BC (ng/g)	Radiación Solar (W/m ²)	Radiación Solar (J.seg/m ²)	Diferencia - Albedo	Energía Absorbida por BC (Joules)	Nieve Fundida por BC (Kg/m ²)
oct-15	350.215	377870.6332	1360334280	0.09142840	124373186.64	370.16
nov-15	205.737	306620.1766	1103832636	0.06622750	73104075.89	217.57
dic-15	61.3611	331259.5288	1192534304	0.02941460	35077919.53	104.40
ene-16	393.322	378934.4806	1364164130	0.09783429	133462029.11	397.21
feb-16	425.3	309243.4727	1113276502	0.10234255	113935556.03	339.09
mar-16	381.01	335525.3126	1207891125	0.09604556	116012579.55	345.28
abr-16	172.404	322063.3876	1159428195	0.05923045	68673453.76	204.39
	257.359	322063.3876	1159428195	0.07603950	88162340.27	262.39
	711.012	322063.3876	1159428195	0.13614864	157854571.99	469.81
may-16	283.228	333760.7393	1201538661	0.08058292	96823493.83	288.17
	1047.07	333760.7393	1201538661	0.16668463	200278027.21	596.07
	1583.29	333760.7393	1201538661	0.20432985	245510214.46	730.69
jun-16	263.202	318869.9967	1147931988	0.07708639	88489932.92	263.36
	514.132	318869.9967	1147931988	0.11396277	130821509.13	389.35
	1005.05	318869.9967	1147931988	0.16323901	187387281.27	557.70
jul-16	403.635	383196.0868	1379505912	0.09930951	136998056.21	407.73
	431.414	383196.0868	1379505912	0.10318357	142342344.89	423.64
	653.179	383196.0868	1379505912	0.13005120	179406399.33	533.95
ago-16	363.05	370242.1215	1332871637	0.09337902	124462247.27	370.42
	633.967	370242.1215	1332871637	0.12795580	170548656.64	507.59
	750.84	370242.1215	1332871637	0.14017737	186838440.65	556.07

Tabla 40: Secuencia de cálculos realizados para estimar la cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Shallap.

El glaciar Shallap por su cercanía a la ciudad de Huaraz (principal fuente de aerosoles antropogénicos), presenta valores más elevados en comparación al glaciar Yanapaccha. Las principales fuentes de carbono negro en una ciudad son el parque automotor que emite partículas PM_{2.5} (incluido el carbono negro), el uso de biomasa (madera y leña) para cocinar (en caso de Huaraz), y las quemadas a cielo abierto (incluido los incendios forestales) este último aporta una gran variedad de partículas (carbono orgánico, carbono negro, sulfuros, nitratos) dependiendo del material orgánico quemado, la combinación con el oxígeno (aire), la sequedad de la madera o pasto. Además para el caso de este glaciar debemos considerar el tipo de Till glaciar que aporta el lecho rocoso por el proceso de abrasión, estas son una mezcla entre gravas y arcillas muy oscuras.

6. RESULTADOS

6.1. Masas de carbono negro determinados en los filtros del glaciar Yanapaccha.

Mes/Año	Carbono Negro - BC (ng/g)	
oct-15	10.6566	
nov-15	11.6185	
dic-15	18.5066	
ene-16	205.192	
feb-16	497.547	
mar-16	280.007	
abr-16	Acumulación	95.8146
	Línea de Equilibrio	117.773
	Ablación	398.424
may-16	Acumulación	135.678
	Línea de Equilibrio	565.334
	Ablación	814.507
jun-16	Acumulación	161.593
	Línea de Equilibrio	171.237
	Ablación	122.123
jul-16	Acumulación	198.579
	Línea de Equilibrio	224.39
	Ablación	356.132

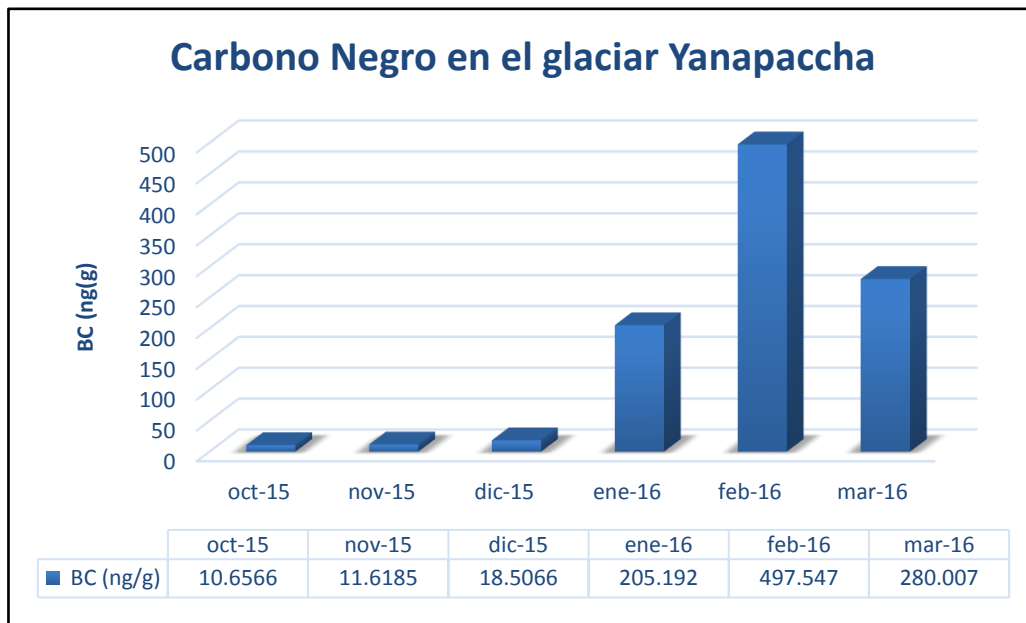


Gráfico 01: Variación de carbono negro entre octubre 2015 a marzo 2016 en el glaciar Yanapaccha.

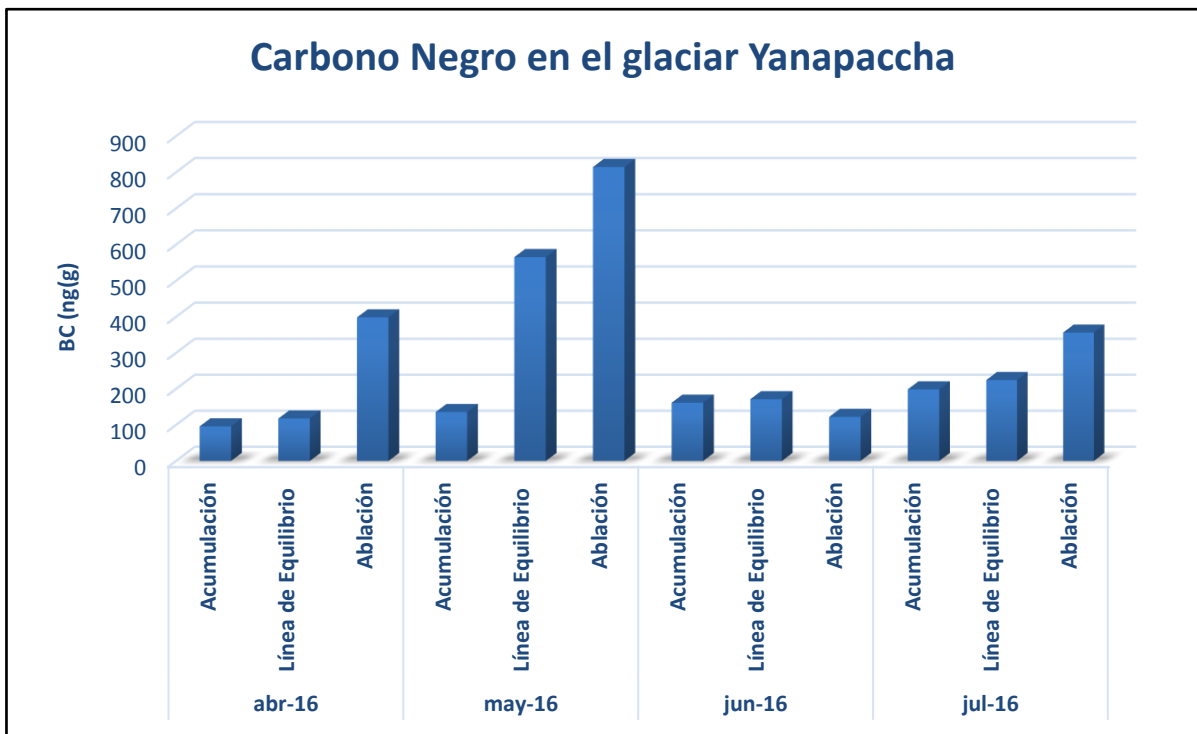


Gráfico 02: Variación de carbono negro entre abril a julio de 2016 en el glaciar Yanapaccha.

6.2. Masas de carbono negro determinados en los filtros del glaciar Shallap.

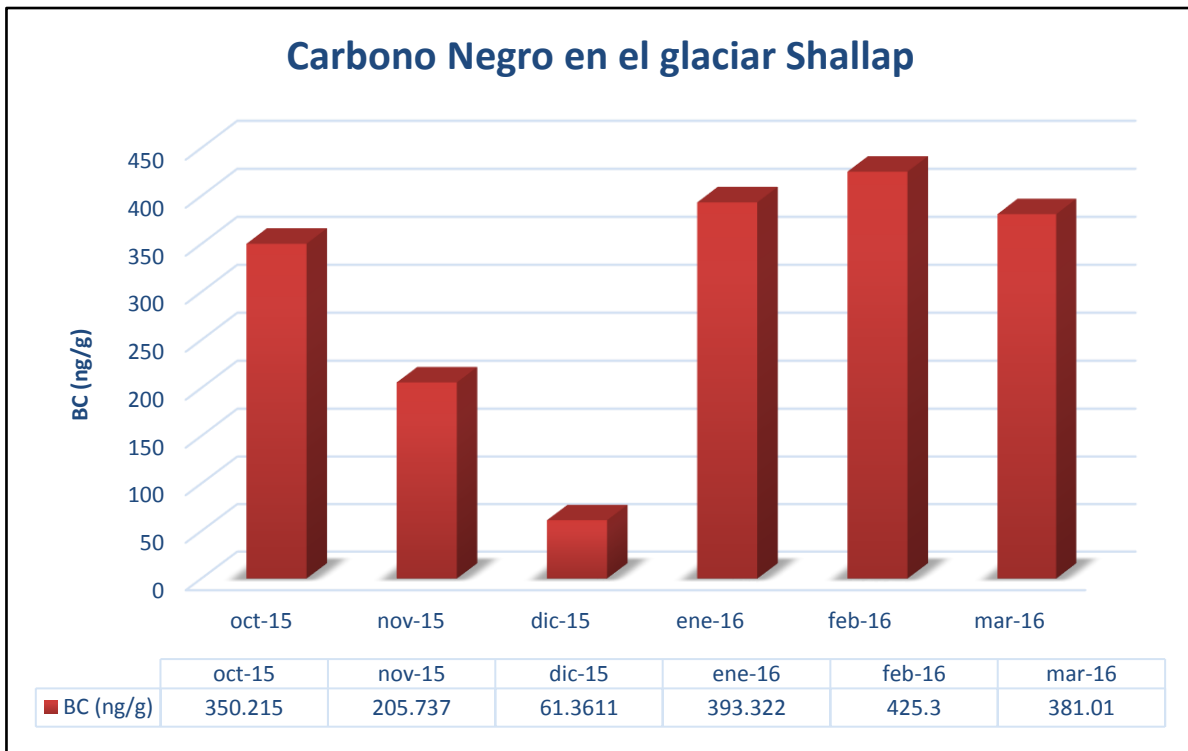


Gráfico 03: Variación de carbono negro entre octubre 2015 a marzo 2016 en el glaciar Shallap.

Mes/Año	Carbono Negro - BC (ng/g)	
oct-15	350.215	
nov-15	205.737	
dic-15	61.3611	
ene-16	393.322	
feb-16	425.3	
mar-16	381.01	
abr-16	Acumulación	172.404
	Línea de Equilibrio	257.359
	Ablación	711.012
may-16	Acumulación	283.228
	Línea de Equilibrio	1047.07
	Ablación	1583.29
jun-16	Acumulación	263.202
	Línea de Equilibrio	514.132
	Ablación	1005.05
jul-16	Acumulación	403.635
	Línea de Equilibrio	431.414
	Ablación	653.179
ago-16	Acumulación	363.05
	Línea de Equilibrio	633.967
	Ablación	750.84

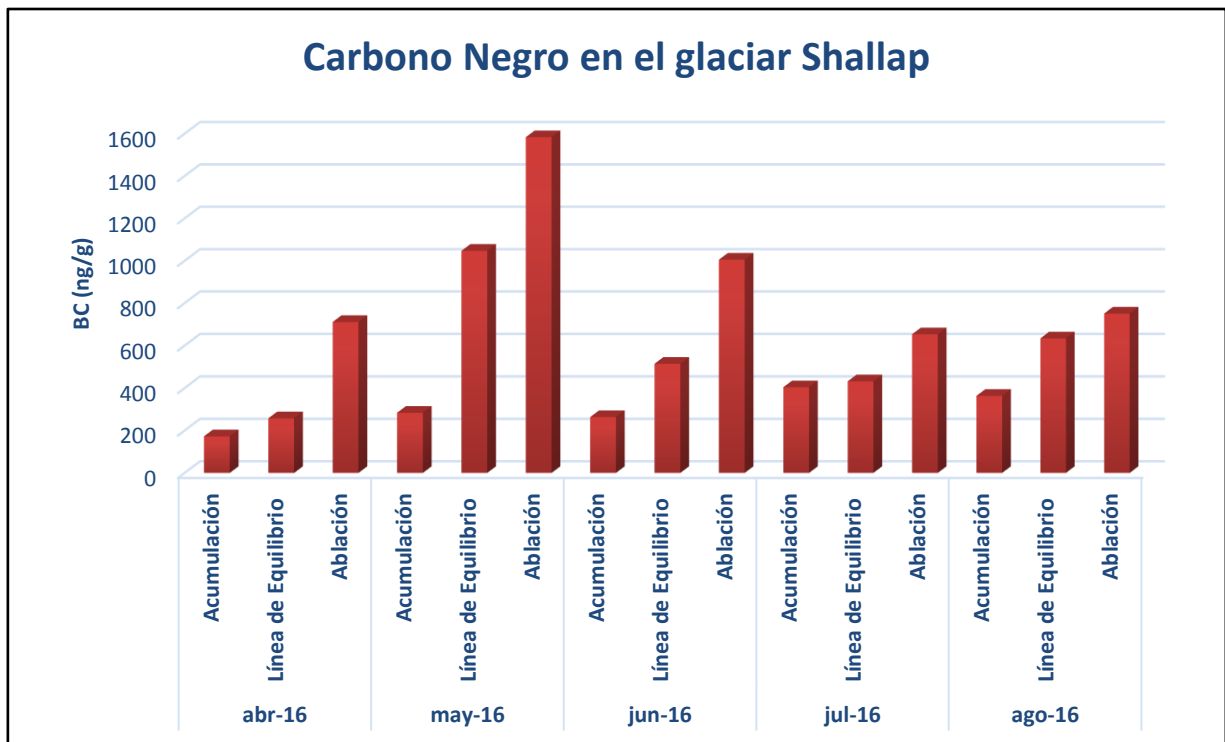


Gráfico 04: Variación de carbono negro entre abril a agosto de 2016 en el glaciar Shallap.

6.3. Variación del albedo de la nieve usando la simulación SNICAR para el glaciar Yanapaccha.

SIMULACIÓN SNICAR PARA EL GLACIAR YANAPACCHA					
Mes/Año	Albedo sin BC	Zona-Glaciario	BC (ng/g)	Albedo con BC	Diferencia-Albedo
oct-15	0.71069986	Acumulación	10.6566	0.70335841	0.00734145
nov-15	0.71069986	Acumulación	11.6185	0.70278841	0.00791145
dic-15	0.71069986	Acumulación	18.5066	0.69900095	0.01169891
ene-16	0.71069986	Acumulación	205.192	0.64458293	0.06611693
feb-16	0.71069986	Acumulación	497.547	0.59881604	0.11188382
mar-16	0.71069986	Acumulación	280.007	0.63067102	0.08002884
abr-16	0.71069986	Acumulación	95.8146	0.67050880	0.04019106
		ELA	117.773	0.66450500	0.04619486
		Ablación	398.424	0.61213362	0.09856624
may-16	0.71069986	Acumulación	135.678	0.65997410	0.05072576
		ELA	565.334	0.59055072	0.12014914
		Ablación	814.507	0.56434244	0.14635742
jun-16	0.71069986	Acumulación	161.593	0.65387678	0.05682308
		ELA	171.237	0.65172541	0.05897445
		Ablación	122.123	0.66337734	0.04732252
jul-16	0.71069986	Acumulación	198.579	0.64592701	0.06477285
		ELA	224.39	0.64079893	0.06990093
		Ablación	356.132	0.61836743	0.09233243

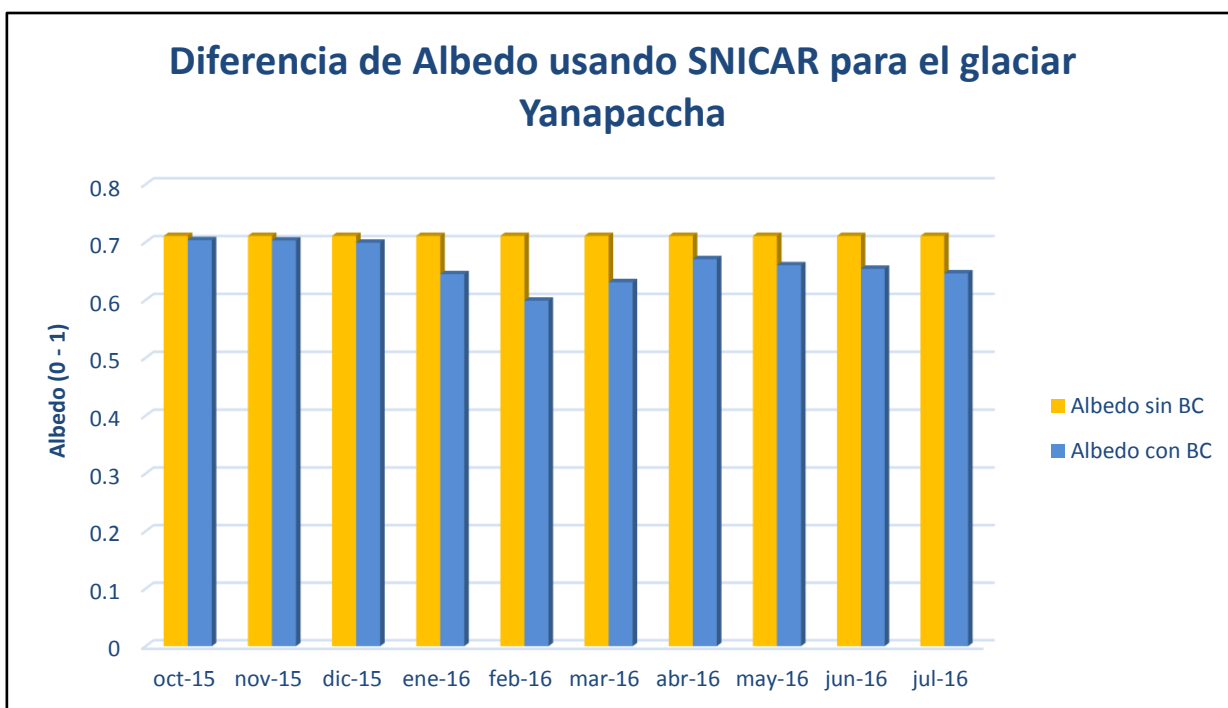


Gráfico 05: Diferencia de albedo usando SNICAR para el glaciar Yanapaccha.

6.4. Variación del albedo de la nieve usando la simulación SNICAR para el glaciar Shallap.

SIMULACIÓN SNICAR PARA EL GLACIAR SHALLAP					
Mes/Año	Albedo sin BC	Zona-Glaciár	BC (ng/g)	Albedo con BC	Diferencia-Albedo
oct-15	0.71069986	Acumulación	350.215	0.61927146	0.0914284
nov-15	0.71069986	Acumulación	205.737	0.64447236	0.0662275
dic-15	0.71069986	Acumulación	61.3611	0.68128526	0.0294146
ene-16	0.71069986	Acumulación	393.322	0.61286557	0.09783429
feb-16	0.71069986	Acumulación	425.3	0.60835731	0.10234255
mar-16	0.71069986	Acumulación	381.01	0.61465430	0.09604556
abr-16	0.71069986	Acumulación	172.404	0.65146941	0.05923045
		ELA	257.359	0.63466036	0.0760395
		Ablación	711.012	0.57455122	0.13614864
may-16	0.71069986	Acumulación	283.228	0.63011694	0.08058292
		ELA	1047.07	0.54401523	0.16668463
		Ablación	1583.29	0.50637001	0.20432985
jun-16	0.71069986	Acumulación	263.202	0.63361347	0.07708639
		ELA	514.132	0.59673709	0.11396277
		Ablación	1005.05	0.54746085	0.16323901
jul-16	0.71069986	Acumulación	403.635	0.61139035	0.09930951
		ELA	431.414	0.60751629	0.10318357
		Ablación	653.179	0.58064866	0.1300512
ago-16	0.71069986	Acumulación	363.05	0.61732084	0.09337902
		ELA	633.967	0.58274406	0.1279558
		Ablación	750.84	0.57052249	0.14017737

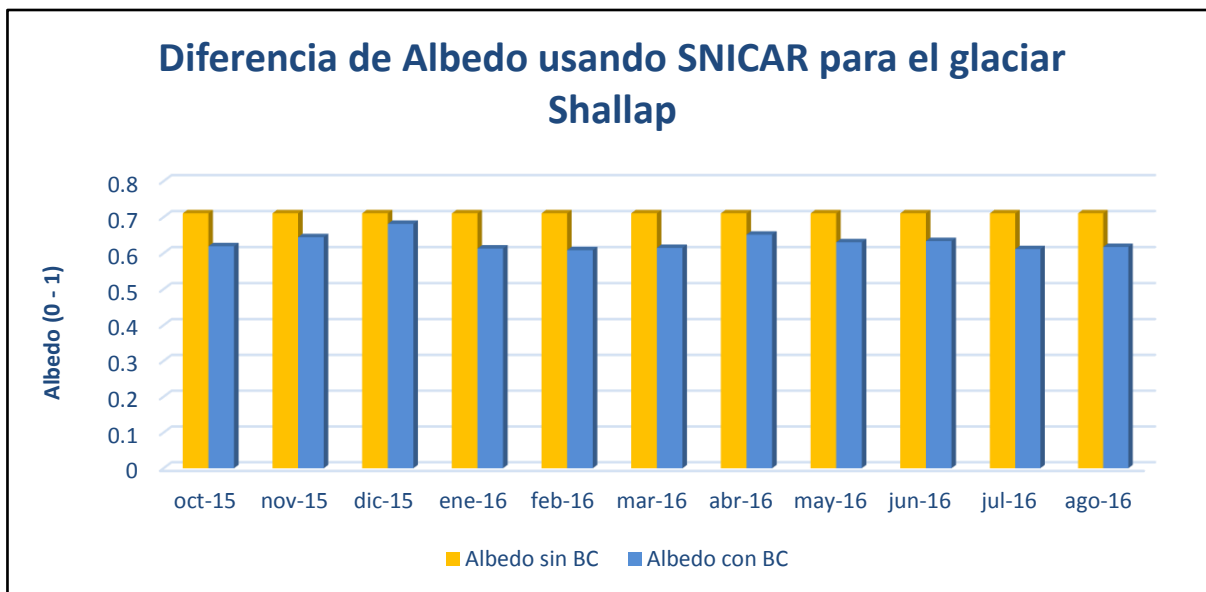


Gráfico 06: Diferencia de albedo usando SNICAR para el glaciar Shallap.

6.5. Energía total que llega sobre el glaciar Yanapaccha.

RS - PARA EL GLACIAR YANAPACCHA		
Año	Mes	RS (W/m ²)
2015	oct	348500.9979
2015	nov	303620.3446
2015	dic	340541.3611
2016	ene	397205.7936
2016	feb	301059.5498
2016	mar	322862.787
2016	abr	339821.9835
2016	may	353073.4145
2016	jun	324384.3499
2016	jul	370388.6068

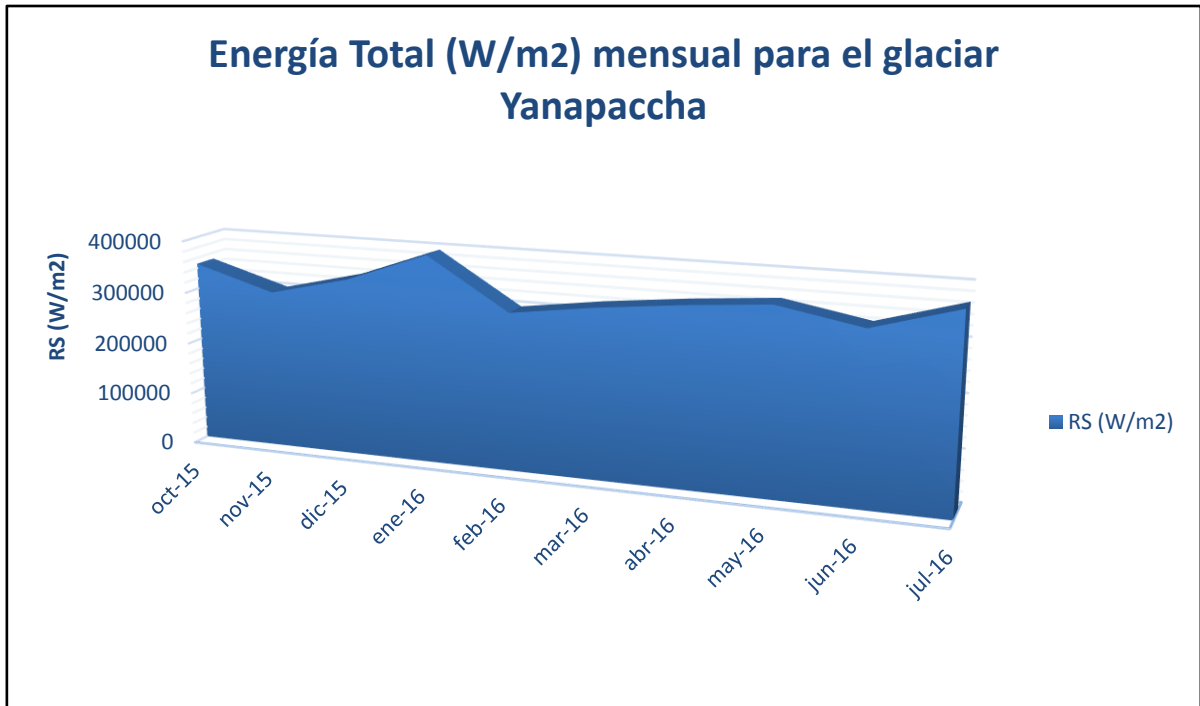


Gráfico 07: Energía total mensual que llega sobre el glaciar Yanapaccha.

De esta energía total (W/m²) mensual que llega sobre la superficie del glaciar, una cantidad es absorbida por el carbono negro. Es esta energía absorbida la que se transfiere en forma de calor a la nieve para acelerar su fusión. A continuación se detalla en una tabla la cantidad de energía absorbida por el carbono negro de manera mensual para el glaciar Yanapaccha:

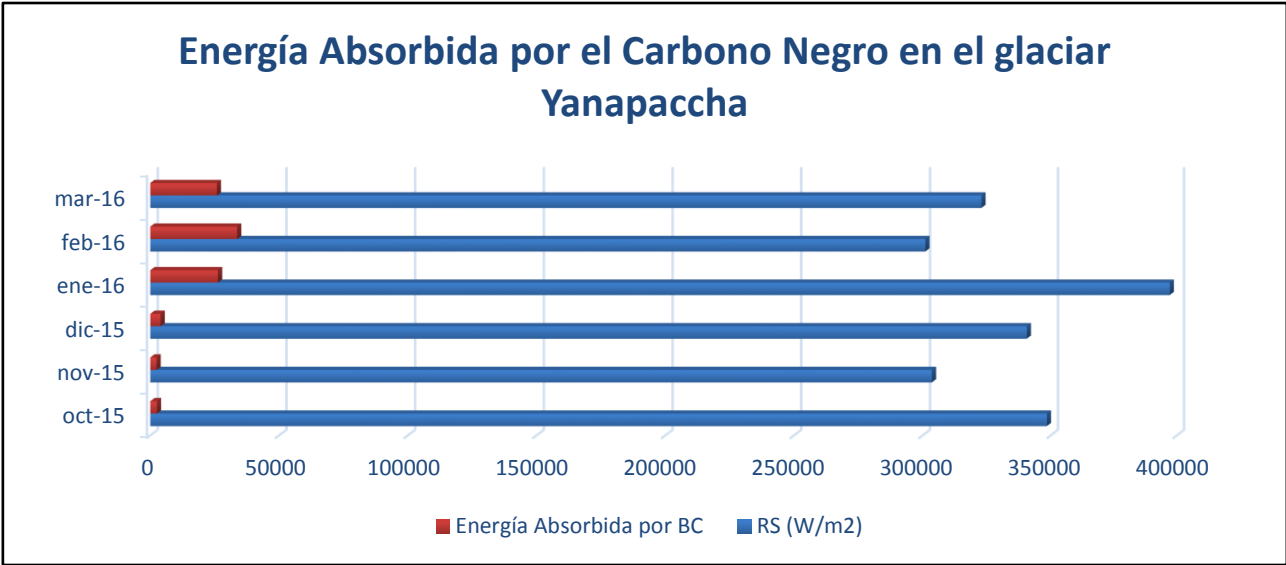


Gráfico 08: Energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Yanapaccha.

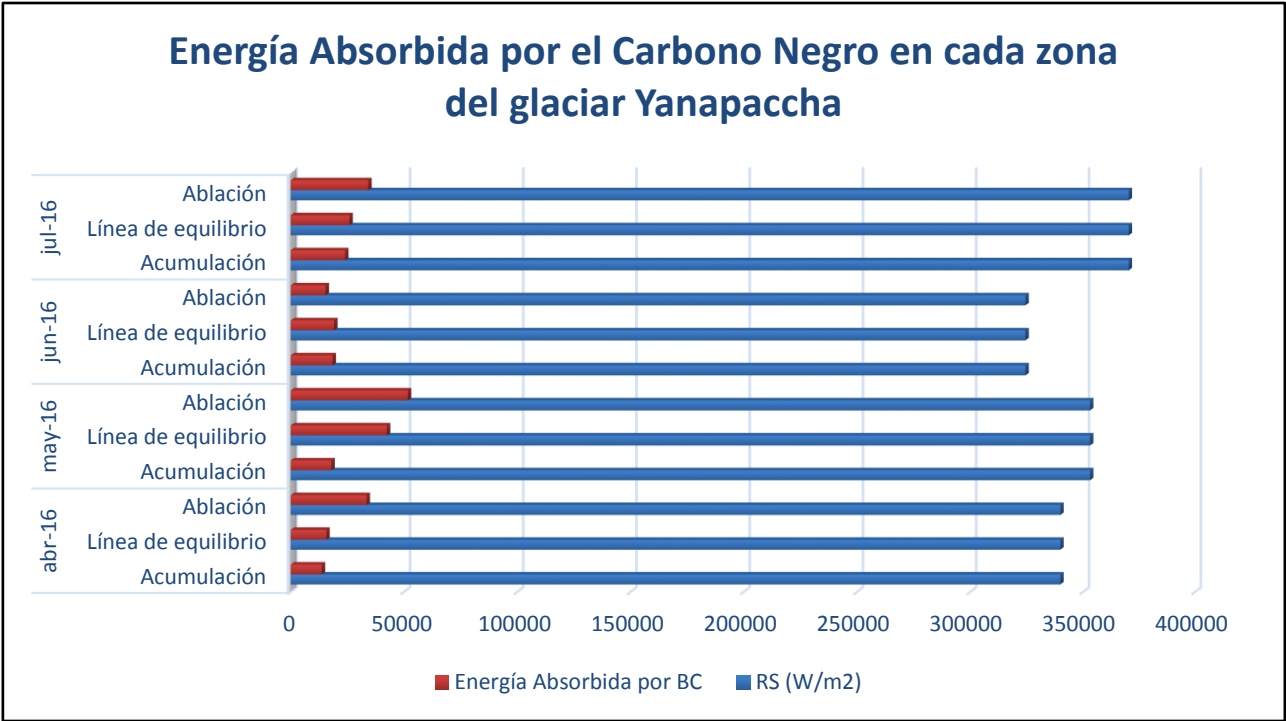


Gráfico 09: Energía absorbida por el carbono negro en cada zona del glaciar Yanapaccha.

6.6. Energía total que llega sobre el glaciar Shallap.

RS - PARA EL GLACIAR SHALLAP	
Mes/Año	RS (W/m2)
oct-15	377870.6332
nov-15	306620.1766
dic-15	331259.5288
ene-16	378934.4806

feb-16	309243.4727
mar-16	335525.3126
abr-16	322063.3876
may-16	333760.7393
jun-16	318869.9967
jul-16	383196.0868
ago-16	370242.1215

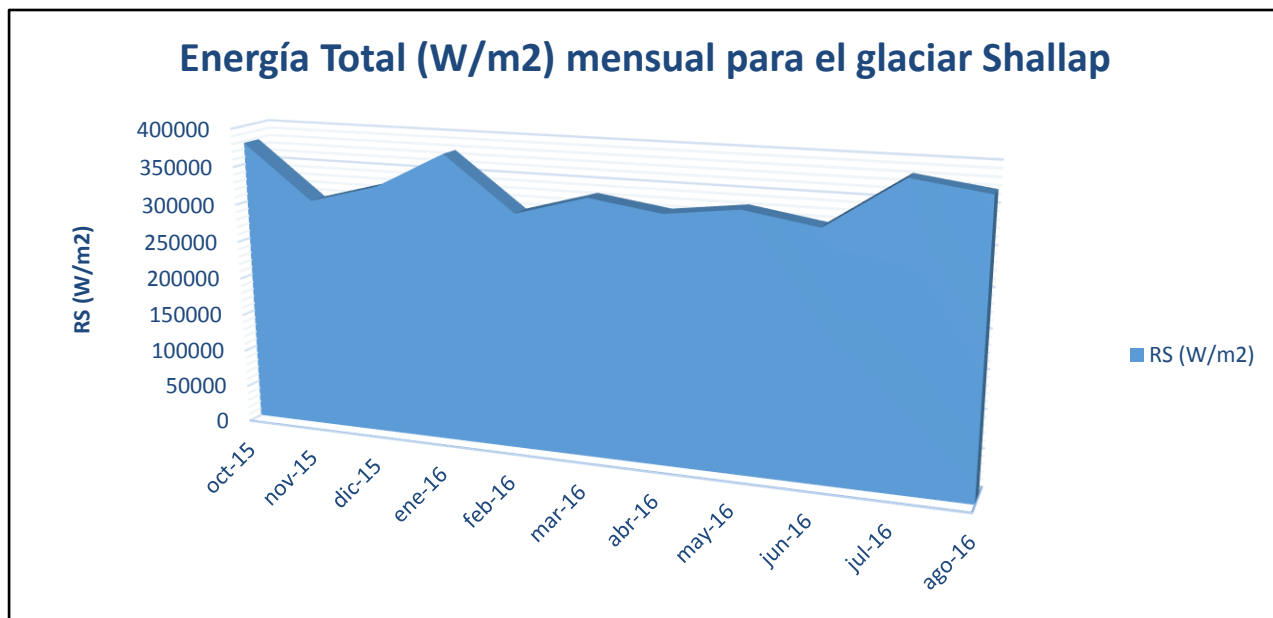


Gráfico 10: Energía total mensual que llega sobre el glaciar Shallap.

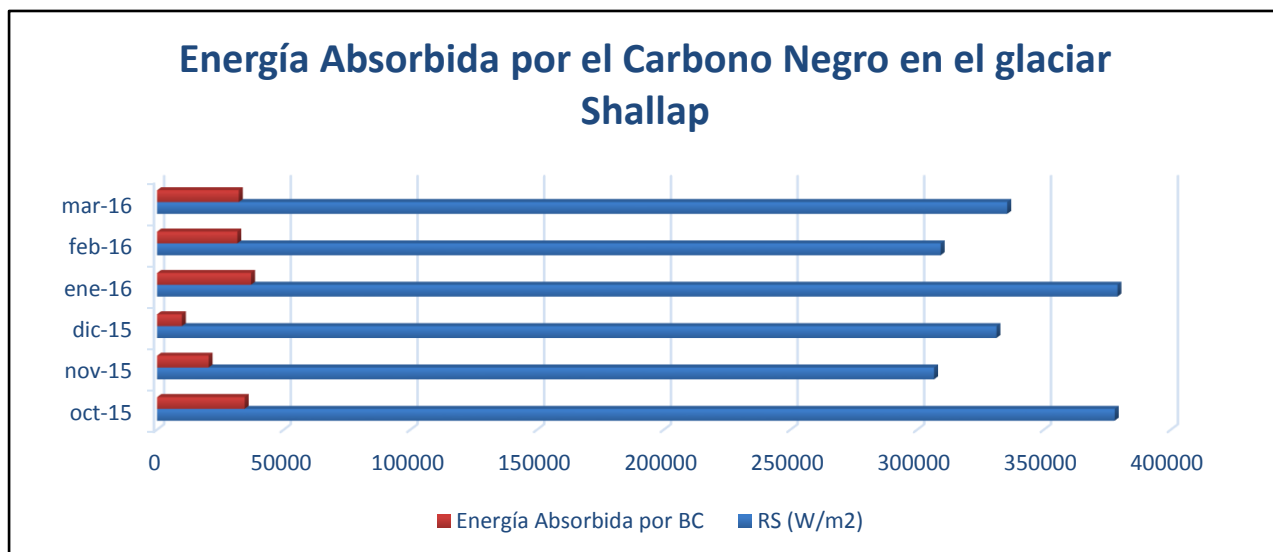


Gráfico 11: Energía absorbida por el carbono negro en el glaciar Shallap.

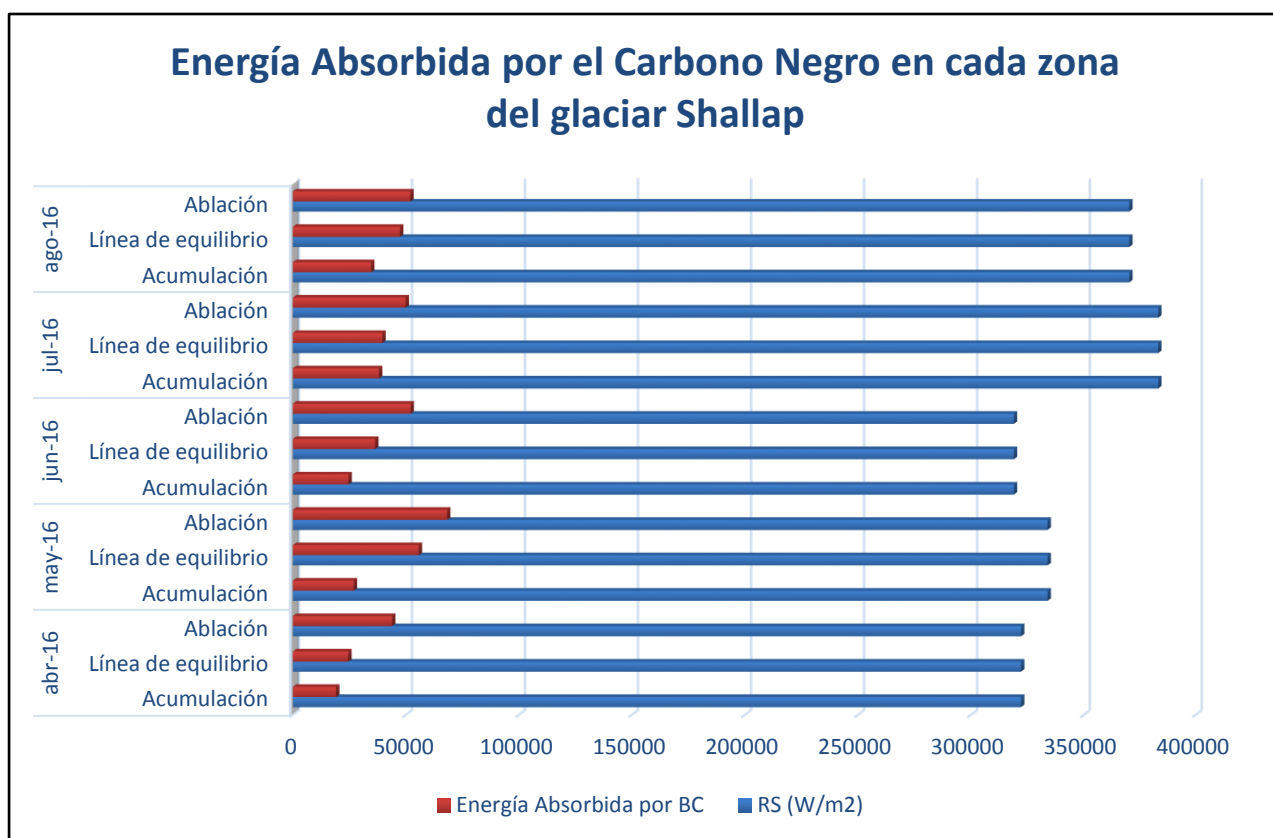


Gráfico 12: Energía absorbida por el carbono negro en cada zona del glaciar Shallap.

6.7. Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Yanapaccha.

Mes/Año	BC (ng/g)	Nieve Fundida por BC (Kg/m2)
oct-15	10.6566	27.41
nov-15	11.6185	25.74
dic-15	18.5066	42.69
ene-16	205.192	281.38
feb-16	497.547	360.90
mar-16	280.007	276.84
abr-16	95.8146	146.33
	117.773	168.19
	398.424	358.87
may-16	135.678	191.89
	565.334	454.52
	814.507	553.66
jun-16	161.593	197.49
	171.237	204.97
	122.123	164.47
Jul-16	198.579	257.05
	224.39	277.40
	356.132	366.42

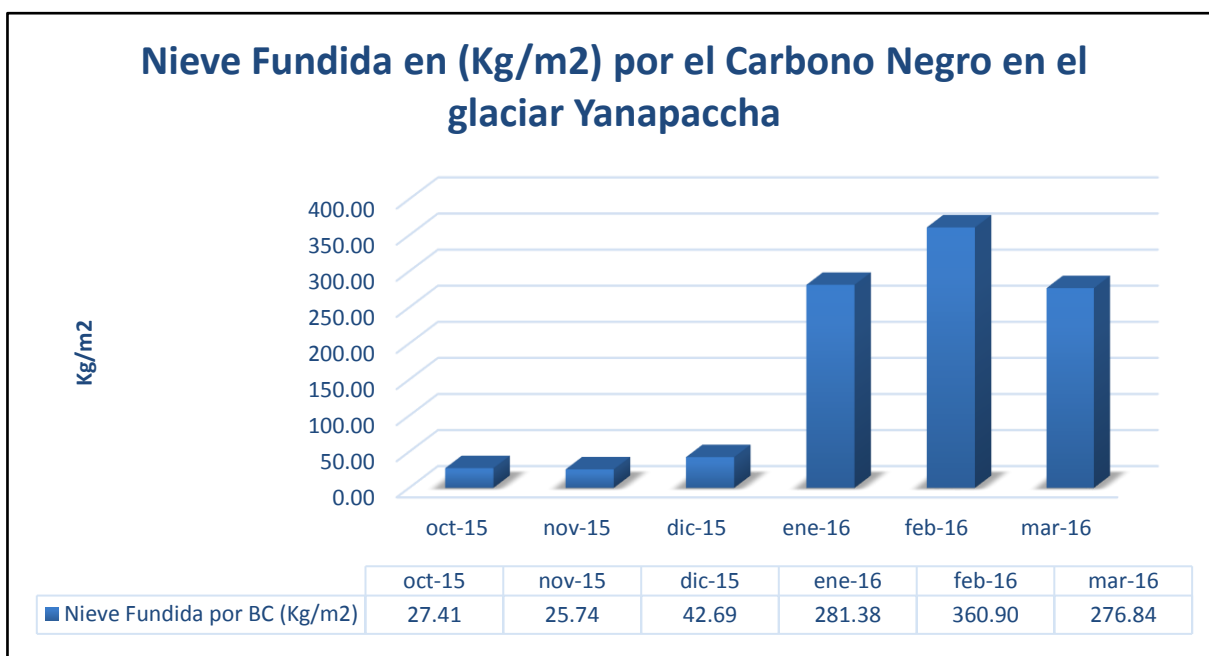


Gráfico 13: Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Yanapaccha.

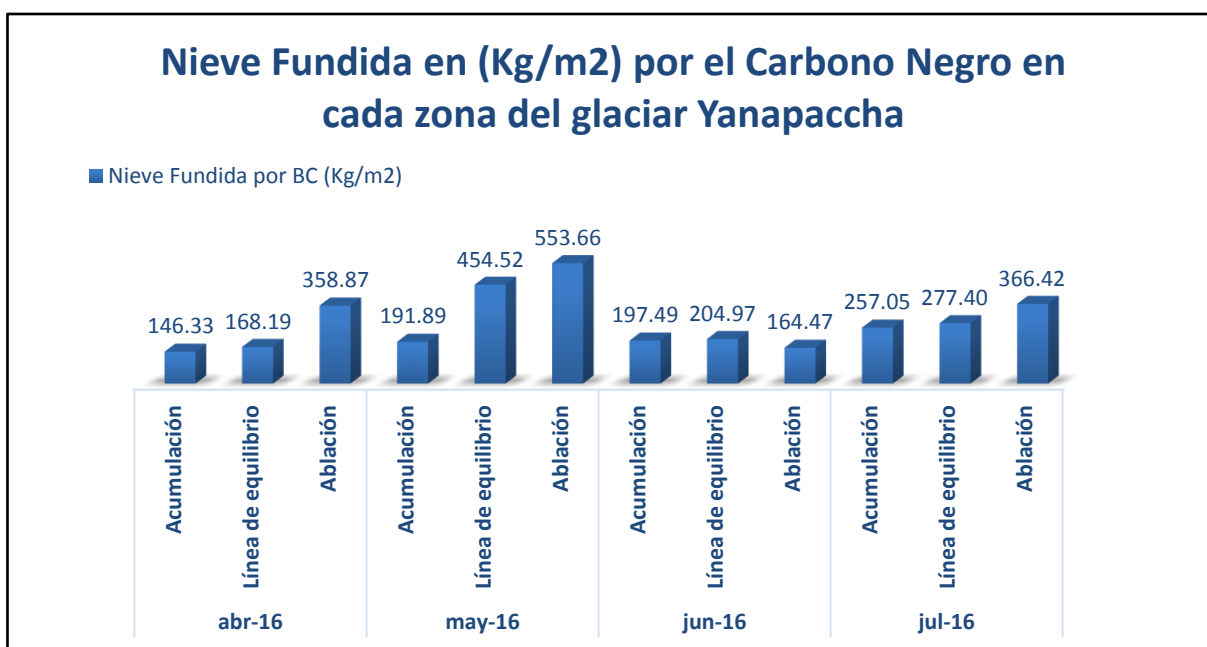


Gráfico 14: Nieve fundida a causa del carbono negro en cada zona del glaciar Yanapaccha.

6.8. Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Shallap.

Mes/Año	BC (ng/g)	Nieve Fundida por BC (Kg/m ²)
oct-15	350.215	370.16
nov-15	205.737	217.57
dic-15	61.3611	104.40
ene-16	393.322	397.21
feb-16	425.3	339.09
mar-16	381.01	345.28

abr-16	172.404	204.39
	257.359	262.39
	711.012	469.81
may-16	283.228	288.17
	1047.07	596.07
	1583.29	730.69
jun-16	263.202	263.36
	514.132	389.35
	1005.05	557.70
jul-16	403.635	407.73
	431.414	423.64
	653.179	533.95
ago-16	363.05	370.42
	633.967	507.59
	750.84	556.07

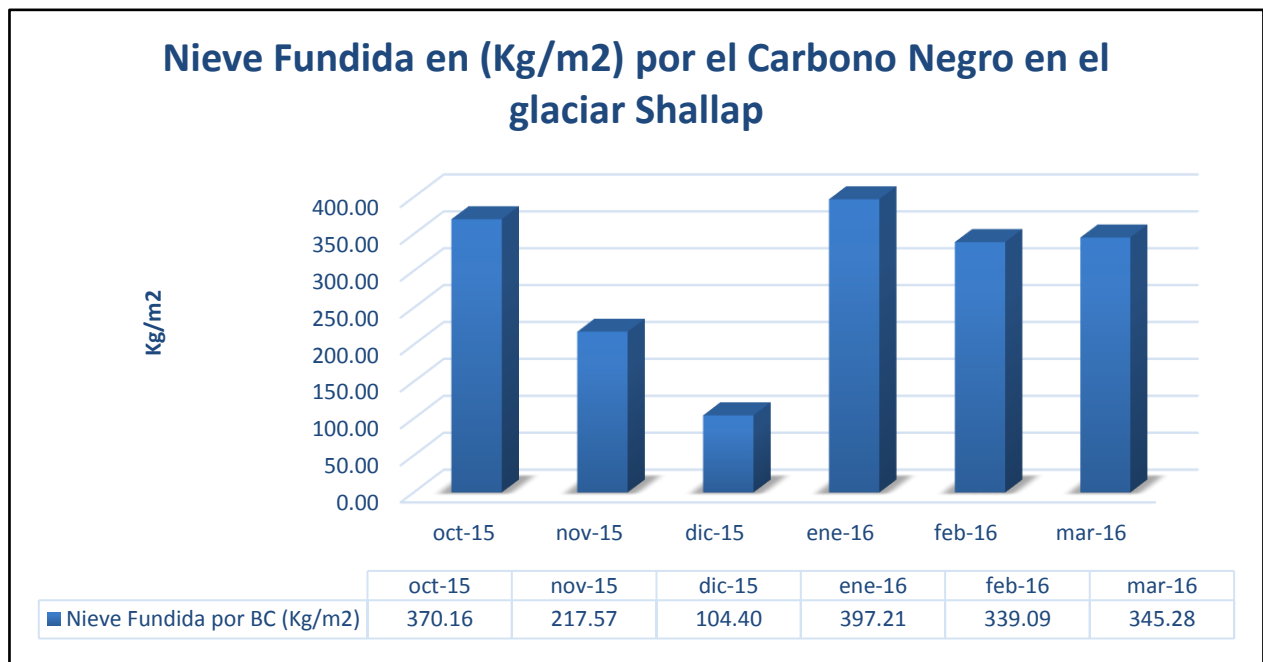


Gráfico 15: Nieve fundida a causa del carbono negro en el glaciar Shallap.

Nieve Fundida en (Kg/m²) por el Carbono Negro en cada zona del glaciar Shallap

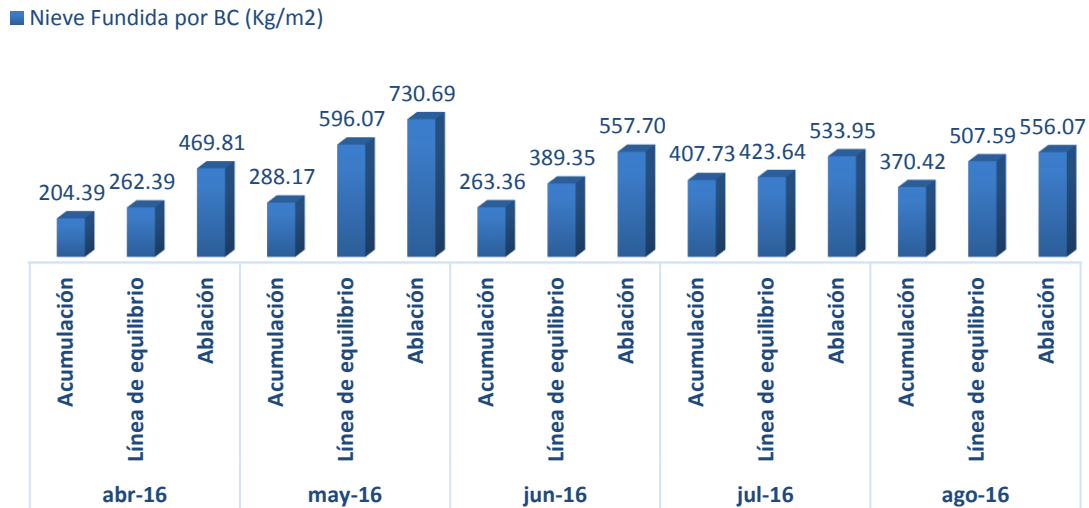


Gráfico 16: Nieve fundida a causa del carbono negro en cada zona del glaciar Shallap.

7. CONCLUSIONES

- La cantidad de carbono negro es mayor en la mayoría de meses en el glaciar Shallap, sólo en el mes febrero de 2016 el glaciar Yanapaccha presentó mayor cantidad de carbono negro. Del mismo modo en cada zona del glaciar Shallap la cantidad de carbono negro es mayor a diferencia del glaciar Yanapaccha.
- En cada zona de ambos glaciares el carbono negro se encuentra en relación inversa a la altitud; quiere decir, a mayor altitud menor cantidad de carbono negro y de manera inversa a menor altitud mayor cantidad de carbono negro.
- Se observa un aumento de carbono negro a partir del mes de enero 2016 para ambos glaciares, esto debido a la falta de precipitaciones durante este año lo cual favorece a la deposición seca del carbono negro sobre los glaciares.
- La mayor diferencia en el albedo de la nieve se presenta en el glaciar Shallap, esto debido a que este glaciar tiene mayor cantidad de carbono negro. La simulación SNICAR considera un valor promedio para la nieve sin carbono negro (0.71069986), este albedo disminuye a medida que se introducen los valores de carbono negro para cada mes.
- La radiación solar que reciben ambos glaciares está dentro de un rango de 300000.00 – 390000.00 W/m², variando para cada mes entre ambos glaciares. Debemos considerar que ambas estaciones meteorológicas están ubicadas muy cerca a los glaciares a una altitud mayor a los 48000 m.s.n.m. por lo cual podemos afirmar que la radiación solar es similar en ambos glaciares, a esto debemos incluir el factor de las nubes.

- Debido a que el carbono negro tiene una alta capacidad para absorber la energía solar en la longitud de onda visible, cuando se presenta mayor cantidad de carbono negro será mayor la cantidad de energía absorbida por el carbono negro. Es el caso del glaciar Shallap, ya que presenta mayor cantidad de carbono negro, por ende la absorción de energía solar es mayor.
- La mayor cantidad de nieve fundida a causa del carbono negro se presenta en el glaciar Shallap, debido a que este glaciar tiene valores mayores de carbono negro durante la mayoría de los meses de muestreo. A partir de enero de 2016 los valores de nieve fundida se incrementan para ambos glaciares, debido a la falta de precipitaciones sólidas (nieve reciente) en ambos glaciares.

8. RECOMENDACIONES

- Considerar realizar otros análisis de campo, como medir la densidad, pH de la nieve, tipo y tamaño de la nieve para correlacionar con la presencia de carbono negro en la nieve de los glaciares.
- Realizar un inventario de las principales fuentes de carbono negro en la región Ancash, en base a las emisiones de $PM_{2.5}$.
- Realizar experimentos para mejorar la técnica de muestreo con relación a la cantidad de muestra líquida que se filtra, para calibrar el instrumento de medición LAHM.
- Recomendar el uso de filtros para partículas Diésel (DPF), esto disminuiría las emisiones de carbono negro en el sector transporte, así mismo realizar controles del contenido de azufre en la gasolina que se comercializa.
- Continuar con el muestreo en ambos glaciares para registrar la dinámica de cantidad de carbono negro depositado en la nieve.
- Considerar adquirir e instalar dos piranómetros en glaciares de interés para disponer de datos de radiación solar directa de manera inmediata.
- Considerar realizar la toma de muestras de nieve en otros glaciares con similares características de ubicación (cerca y lejos de Huaraz) para comparar resultados.
- Concientizar a la población acerca de los efectos que produce el carbono negro sobre los glaciares, en especial a la población rural (utilizar folletos redactados en lengua Quechua).

9. BIBLIOGRAFIA

- ICCT [International Council on Clean Transportation] (2009). El conocimiento científico actual sobre los impactos de carbono negro en el cambio climático y las estrategias recomendadas para reducir las emisiones. Una síntesis para la toma de decisiones. Autor. Manuscrito.
- Hansen J. & Nazarenko L. (2004). Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 423-428.
- Rabatel, A., Francou, B, Soruco, A, Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J.L., Basantes, R., Vuille, M., Sicart, J.E., C., Scheel, M., Lejeune, Y., Arnaud, Y., Collet, M., Condom, T., Consoli, G., Favier, V., Jormelli, V., Galárraga, R., Ginot, P., Maisincho, L., Mendoza, J., Ménégos, M., Ramirez, E., Ribstein, P., Suarez, W., Villacis, M. & Wagnon, P., Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*, 7, 81-102, 2013, www.the-cryosphere.net/7/81/2013/doi/10.5194/tc7-81-2013.
- USEPA. (2012). Report to Congress on Black Carbon, (March), 388. <http://doi.org/10.1016/j.icrp.2009.12.007>

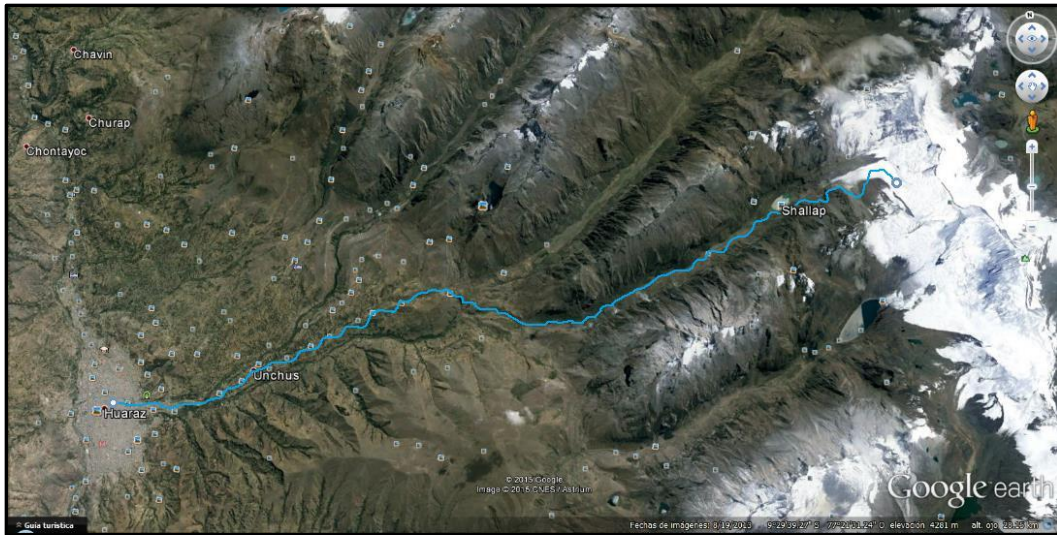
10. ANEXOS

Enlaces externos:

- <http://snow.engin.umich.edu/>
- <https://ncar.ucar.edu/>
- <http://climberscience.org/>



Fotografía satelital donde se observa la ruta hasta el glaciar Yanapaccha.



Fotografía satelital donde se observa la ruta hasta el glaciar Shallap.