

## **Determinación de la capacidad de la fibra de alpaca como medida precautoria para reducir los efectos nocivos de la radiación electromagnética Wi-Fi**

### *Determination of the capacity of the alpaca fiber as a precautionary measure to reduce the harmful effects of Wi-Fi electromagnetic radiation*

Ibelice del Pilar Ramírez Sahonero

Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Boliviana “San Pablo”, Av. 14 de Septiembre N° 4807, esq. calle 2, Obrajes. La Paz, Bolivia.

[ibelice93@hotmail.com](mailto:ibelice93@hotmail.com)

**Resumen:** Este artículo presenta el hallazgo de la capacidad de la fibra de alpaca para atenuar la radiación electromagnética Wi-Fi de 2,4 GHz.

Se diseñó y construyó una cámara anecoica, dentro de la cual se instalaron: un *router* como emisor de ondas, un medidor de densidad de potencia y entre ellos, diferentes muestras de fibra de alpaca. Las mediciones de densidad de potencia se realizaron en presencia y ausencia de la muestra.

Se estableció que la atenuación que produce la fibra de alpaca es directamente proporcional al grosor de la muestra. Se produjo una atenuación de 1, 19, 30 y hasta 48 % de la radiación inicial.

Los resultados de este estudio sugieren que la fibra de alpaca, producto de uso tradicional y de fácil acceso en la región, podría ser usada como medida precautoria para reducir los posibles efectos nocivos de la radiación electromagnética Wi-Fi en la salud humana.

**Palabras clave:** Wi-Fi, fibra de alpaca, atenuación, ondas electromagnéticas, 2,4 GHz, medida precautoria

**Abstract:** This article presents the discovery of the ability of the alpaca fiber to attenuate the 2.4 GHz Wi-Fi electromagnetic radiation.

An anechoic chamber was designed and built, within which were installed: a router as wave emitter, a density power meter and between them, different samples of alpaca fiber. The power density measurements were performed in presence and absence of the sample.

It was established that the attenuation produced by alpaca fiber is directly proportional to the sample thickness. There was an attenuation of 1, 19, 30 and up to 48 % of the initial radiation.

The results of this study suggest that alpaca fiber, product of traditional use and easily accessible in the region, could be used as a precautionary measure to reduce the possible harmful effects of Wi-Fi electromagnetic radiation on human health.

**Keywords:** Wi-Fi, alpaca fiber, attenuation, electromagnetic waves, 2.4 GHz, precautionary measure

## 1. Introducción

La radiación electromagnética no se puede ver pero se sabe que está ahí, la de origen natural y la de origen antrópico. La radiación proveniente del Sol y la Tierra han forzado a la humanidad a una adaptación de estructura y conducta. La generada por el hombre tiene múltiples beneficios pero también efectos nocivos conocidos y desconocidos para la salud humana.

Dentro del espectro electromagnético, el rango de radiofrecuencias y sus aplicaciones, especialmente en telecomunicaciones, han sido objeto de estudio para la determinación de efectos nocivos térmicos y no térmicos producidos por la exposición a esta radiación. Los efectos no térmicos son detectables a largo plazo (por ejemplo daños en el ADN), lo que demora el proceso de implementación de normativa con base científica acorde a los daños [19].

Existen varios estudios que muestran daños no térmicos de la radiación de radiofrecuencias a la salud, como: fragmentación del ADN en esperma humano [2], alteración de la actividad eléctrica en el cerebro humano y reducción en la atención en pruebas de memoria [23], alteraciones hormonales y uterinas en ratas gestantes y su descendencia [35], estrés oxidativo del cerebro e hígado en ratas gestantes y los efectos en el desarrollo de los recién nacidos [6], alteraciones en la fertilidad y calidad de esperma en ratas jóvenes [29], por mencionar algunos.

Por otra parte, en 2011 a través de un comunicado de prensa, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC), comunicaron que se habían clasificado a los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como posibles carcinógenos para los seres humanos (Grupo 2B) [25].

Una recopilación de resultados de estudios sobre daños provocados por la radiación electromagnética de radiofrecuencias muestra que estos daños se evidencian por debajo del límite permisible para este rango de frecuencias sugerido por varias organizaciones reconocidas, cuyos lineamientos sigue la mayoría de países [2][6][18][21][22][23][29][30][35].

La tecnología Wi-Fi, se encuentra en el rango de radiofrecuencias y el incremento de su uso en los últimos años ha llevado a científicos y población en general a preocuparse por la excesiva exposición y los efectos que podría tener en la salud.

Hoy en día el Wi-Fi es una herramienta indispensable para muchos, siendo una de sus grandes aplicaciones el acceso inalámbrico a internet. Según el Informe de los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas, la penetración del internet en la población mundial, se ha incrementado del 6 % en el 2000 al 43 % (3 200 millones de personas) en el 2015 [32]. El 2015, los puntos de acceso Wi-Fi estimados en el mundo fueron 98 millones y para el 2016 la predicción es de 177 millones, un crecimiento del 80 % [12].

Existen algunos grupos de la población que sin duda son más vulnerables como: niños, ancianos, mujeres embarazadas o en periodo de lactancia, personas con enfermedades crónicas e hipersensibles; que son más susceptibles de sufrir daño por la exposición a cualquier agente [24]. A raíz de ello países, como Francia [16], han adoptado medidas como eliminar el Wi-Fi en guarderías y colegios, además de recomendar el uso de internet por cable para domicilios.

El principio de precaución permite adoptar medidas preventivas provisionales cuando persiste la incertidumbre científica sobre la naturaleza y el alcance de un riesgo inaceptable [8]. Es evidente entonces que más allá de las medidas a nivel normativo, se deben hacer esfuerzos para brindar a las personas medios accesibles de protección que atenúen la radiación electromagnética.

Originalmente los materiales para blindaje contra ondas electromagnéticas, se emplearon para proteger dispositivos y circuitos electrónicos de los efectos de la interferencia electromagnética. Estos materiales, generalmente metales, actúan absorbiendo las ondas en su interior o reflejándolas de su superficie [28]. En la actualidad se fabrica una amplia gama de productos para proteger circuitos electrónicos de las interferencias electromagnéticas, utilizando placas metálicas, espumas y tejidos.

Con esta base tecnológica y a raíz de la preocupación de la gente, se empezó a fabricar textiles para atenuar los efectos de la radiación electromagnética. Estas telas, tejidas con hilos metálicos y algodón, fundan su acción en la efectividad de blindaje del metal [9]; y se pueden usar en cortinas, carpas para los lugares de descanso y ropa.

Por otra parte, el agua también ha sido catalogada como blindaje efectivo o atenuador de ondas electromagnéticas de 2,4 GHz y cuando una onda electromagnética se propaga, en objetos que la contienen, como árboles y papel, se hace efectiva esta propiedad [9].

Respecto a la efectividad del agua como blindaje, existe un estudio [34] que concluye que el agua distribuida en gotas en formación regular sobre una superficie, absorbe radiación electromagnética. En este estudio se observó que, en contra de lo que se podría pensar, la absorción de la radiación era mayor con gotas de agua en formación que con una película de agua regular.

En este orden de cosas, el presente trabajo de investigación pretendió determinar si un producto de uso tradicional y de fácil acceso en la región, la fibra de alpaca, brindaría la posibilidad de atenuar el efecto que produce en el ser humano, la radiación electromagnética de una frecuencia específica y brindar un sustento científico a través de una prueba experimental.

La fibra de alpaca es apreciada por: el confort atribuido a la capacidad de regular el calor, la propiedad de absorber agua permaneciendo seca al tacto, los diferentes colores naturales (más de una decena), el brillo y sobre todo por su suavidad. Sin embargo, es la higroscopicidad que posee, propiedad de absorber humedad [17], que sustenta la hipótesis del presente estudio. La fibra de alpaca tiene una higroscopicidad de 50 % [37], que significa que puede absorber humedad hasta el 50 % de su peso.

La alpaca es una especie originaria de Sudamérica que habita principalmente en Perú y Bolivia, aunque se cría en menor cantidad en otros países. Perteneció al Reino *Animalia*, Filo *Chordata*, Clase *Mammalia*, Orden *Artiodactyla* Suborden *Ruminantia*, Infraorden *Tylopoda*, Familia *Camelidae*, Género *Lama*, Especie *Lama pacos* [20]. Existen dos razas: la Suri y la Huacaya, esta última por su resistencia es la más común.

En 2015, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en Bolivia se contabilizaron 444 273 alpacas [11]. Bolivia ocupa el segundo lugar, a nivel mundial, en volumen de producción de fibra de alpaca [26].

La producción de fibra en Bolivia el 2012 fue de aproximadamente 400 toneladas. Con los siguientes precios para sus productos: fibra 6 \$us el kg, tops 10,5 \$us el kg, hilo 30 \$us el kilogramo y prendas tejidas 40 \$us promedio. En La Paz existen dos principales textileras: ALTFIBERS y COPROCA [1].

## **2. Planteamiento del problema de investigación**

Las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia están catalogadas como posibles cancerígenos [25], por tanto es necesario precautelar la salud humana ante ellas utilizando los recursos más accesibles y en lo posible renovables.

Un tipo de ondas al que se expone mucha gente es el usado en la tecnología Wi-Fi de 2,4 GHz, que pese a ser una herramienta muy útil, es necesario poner en práctica el principio precautorio contra sus efectos nocivos que están en proceso de estudio. Con el principio precautorio “no cabe escudarse en la ignorancia” [7]. Este principio permite investigar y proponer medidas de carácter preventivo, aunque persista la incertidumbre científica sobre el alcance del riesgo.

Un producto de uso tradicional en la región con una cadena de producción sostenible es la fibra de alpaca, que por su alta higroscopicidad podría ser efectiva como blindaje y atenuar la propagación de ondas electromagnéticas. Este indicio se

basa en el antecedente de que el agua actúa como blindaje ante las ondas electromagnéticas provenientes de redes inalámbricas [34].

La efectividad de un blindaje se puede calcular a partir de las mediciones de densidad de potencia antes y después de la interposición del material entre el emisor y el receptor de las ondas electromagnéticas, en un medio controlado. Pero los métodos de medición de blindaje tienen diferentes estándares y es necesario adecuarlos al trabajo de investigación específico, de acuerdo a la disponibilidad de recursos.

Para la frecuencia de Wi-Fi de 2,4 GHz existen productos certificados por Wi-Fi Alliance de acuerdo a los estándares del IEEE y medidores de densidad de potencia de campos electromagnéticos, con certificado de calibración por la industria. Estos equipos pueden ser usados en una prueba experimental para determinar si la fibra de alpaca atenúa estas ondas y saber a qué grosores lo hace.

## 2.1 Problema de investigación

¿Atenuará la fibra de alpaca la propagación de ondas electromagnéticas de 2,4 GHz provenientes de un *router* Wi-Fi de uso común a algún grosor de muestra?

## 3. Hipótesis

La fibra de alpaca atenúa la propagación de ondas electromagnéticas de 2,4 GHz provenientes de un *router* Wi-Fi de uso común a algún grosor de muestra.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Determinar si la fibra de alpaca atenuará la propagación de ondas electromagnéticas de 2,4 GHz provenientes de un *router* Wi-Fi de uso común a algún grosor de muestra, para disminuir los posibles efectos nocivos en la salud humana.

### 4.2 Objetivos específicos

Diseñar y construir el sistema que permita realizar las mediciones de densidad de potencia, en un ambiente controlado.

Establecer la relación de densidades de potencia entre el sistema sin muestra y el sistema con muestra para diferentes grosores de muestras de fibra de alpaca.

Establecer la atenuación de las ondas electromagnéticas de 2,4 GHz provenientes de un *router* Wi-Fi de uso común producida por cada grosor de muestra de fibra de alpaca.

## 5. Sustento teórico

Las ondas electromagnéticas viajan en el vacío a velocidad de la luz [31] y en el aire de la atmósfera con una velocidad algo menor. De acuerdo a las características de las ondas, la radiación electromagnética forma un espectro que contiene rangos de frecuencias de radiación ionizante y radiación no ionizante.

La radiación ionizante (rayos gamma, rayos X, rayos ultravioleta) es capaz de destruir el enlace de los electrones provocando daño en los organismos vivos a nivel celular. Los daños ocasionados por la radiación no ionizante (parte de la radiación ultravioleta, luz visible, infrarrojo, microondas y ondas radio [10]) están en proceso de estudio. En este rango se encuentra la radiación Wi-Fi.

El Wi-Fi es una tecnología que permite transmitir datos entre dispositivos como computadoras, impresoras, discos duros, teléfonos móviles, cámaras, de manera inalámbrica. La principal aplicación es el acceso a internet [5]. Esta tecnología trabaja en las frecuencias 5 y 2,4 GHz, esta última es la más difundida porque pese a que transmite datos con menor velocidad, tiene mayor alcance.

Las ondas electromagnéticas transportan energía y la velocidad con la que es transportada por unidad de área se define como densidad de potencia. La densidad de potencia tiene como unidades  $\mu\text{W m}^{-2}$ .

La atenuación de la propagación de ondas electromagnéticas se produce por varios mecanismos como la distancia, la absorción y la reflexión [3]. Desde el punto de vista del receptor, un blindaje ideal reflejaría todas las ondas.

Existen materiales que bloquean el paso de las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia, como los metales y otros que lo permiten, como los plásticos [3].

Para fines prácticos, la atenuación que se produce entre la fuente y el receptor, al interponer un material, se determina con una relación logarítmica entre los valores de densidad de potencia antes y después de la interposición del material.

La Ecuación (1) representa la atenuación como pérdida de la densidad de potencia en decibeles [31] [33].

$$SE_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{DP}{DP'} \right) \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

$SE_{dB}$  = Atenuación [dB]

DP = Densidad de Potencia antes [ $\text{W m}^{-2}$ ], [ $\mu\text{W m}^{-2}$ ]

DP' = Densidad de Potencia después [ $\text{W m}^{-2}$ ], [ $\mu\text{W m}^{-2}$ ]

El presente trabajo de investigación utilizó el concepto de cámara anecoica para construir un recinto libre de interferencias externas y reflexiones internas que permitió medir la densidad de potencia emitida por un *router* de tecnología Wi-Fi.

Cerca de una antena, emisora o receptora, se pueden identificar dos regiones: el campo cercano, denominado zona Fresnel, donde existen interferencias indeseables para la medición y el campo lejano, denominado zona Fraunhofer, donde se considera que las ondas transmitidas son planas.

La ecuación que determina la frontera del campo lejano viene dada por la ecuación (2) [15].

$$C = \frac{2 \cdot D^2}{\lambda} \quad [\text{m}] \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

C = Frontera entre campo cercano y campo lejano de las antenas emisoras

$\lambda$  = Longitud de onda [m]

D = Dimensión máxima de la antena [m]

Una antena dipolo de  $\lambda/2$ , típica de un *router* doméstico, tiene un patrón de radiación omnidireccional en forma de “dona” y es la que más se asemeja a una antena isotrópica que es una antena que distribuye la radiación en todas las direcciones a semejanza de una esfera.

Cuando se trata de un arreglo lineal de tres antenas, el patrón de radiación es menor en el eje que coincide con la línea del arreglo y mayor en el eje perpendicular del plano horizontal que pasa por el centro de las antenas [13].

La antena Log-per es una de las más utilizadas en los sistemas de medición de densidad de potencia. Está conformada por una serie de antenas dipolo y tiene la capacidad de captar varias frecuencias [14].

## 6. Metodología

La investigación se caracteriza básicamente como correlacional, con cierto valor explicativo, con base en una hipótesis causal bivariada. En el estudio se relaciona una variable independiente, la muestra de fibra de alpaca, con una variable dependiente, la atenuación de ondas electromagnéticas.

La variable independiente es una variable cualitativa, porque se mide por su ausencia o presencia. La variable dependiente es una variable cuantitativa continua, porque puede hallarse valores intermedios entre dos valores dados. Su indicador es la densidad de potencia medida.

La investigación es de tipo experimental, dentro de la categoría de experimento puro. El diseño incluye prepruebas, pospruebas y grupos de control.

El método seguido en la investigación fue hipotético-deductivo con un enfoque cuantitativo. Este método, que parte de una hipótesis, permite comparar sus consecuencias deductivas con los resultados de los experimentos realizados [36].

Se realizaron varios experimentos, cada uno con un grosor diferente de muestra de fibra de alpaca, como se muestra en la Figura 1.

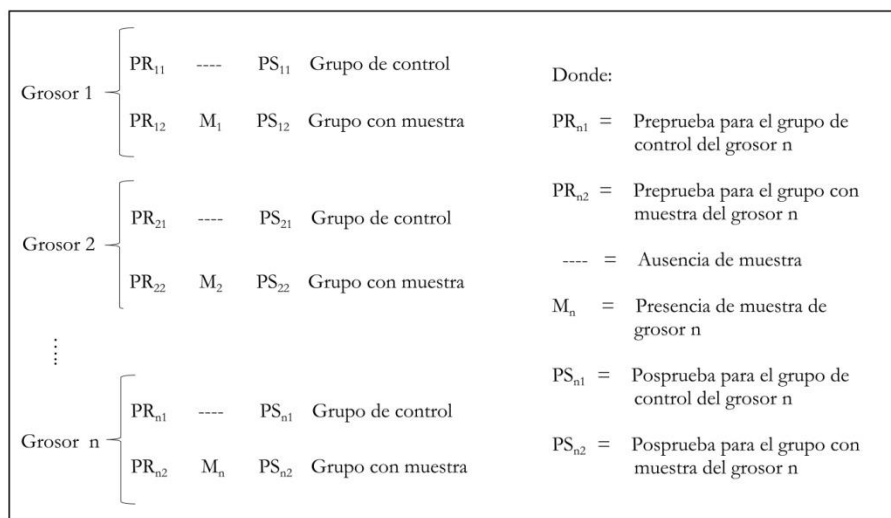


Figura 1: Diagrama de diseño experimental elaborado para la presente investigación

La preprueba consistió en la medición inicial de densidad de potencia en ausencia de la muestra.

La posprueba consistió en la medición de densidad de potencia después de interpuesta la muestra entre el emisor y el medidor. Para el caso del grupo de control, nuevamente en ausencia de la muestra.

Para obtener condiciones controladas y similares en cada prueba se ubicaron los instrumentos de emisión, medición y registro de datos de la densidad de potencia dentro de una cámara anecoica. Se registraron la temperatura y la humedad del ambiente para cada prueba.

Para el diseño de la cámara anecoica se tomó en cuenta las restricciones de espacio, la frecuencia de trabajo (2,4 GHz), la exigencia de distancia mínima de medición del medidor, las interferencias detectadas en el lugar de medición, las reflexiones internas de la cámara y los materiales disponibles en el medio.



Los criterios de diseño se obtuvieron de la base teórica y de las guías de diseño de trabajos anteriores [4], adecuándolos al diseño específico del presente trabajo de investigación.

Para el diseño de la cámara anecoica se tomaron en cuenta: la distancia mínima entre el *router* y el medidor de acuerdo a sus especificaciones de fabricación, las distancias de la frontera del campo lejano de las antenas y el ángulo de las principales trayectorias de las ondas incidentes en las paredes de la cámara [27].

El diseño dio como resultado una cámara anecoica de 1,65 m de largo y una sección cuadrada de 0,60 m. Las paredes de la cámara fueron construidas de paneles de aluminio y fueron recubiertas internamente por material absorbente para las reflexiones internas. La cámara fue construida en dos módulos para poder colocar la caja de muestra. Una vista externa de la cámara se observa en la Figura 2.



Figura 2: Vista externa de la cámara anecoica abierta.

La muestra de fibra de alpaca fue colocada, entre el *router* y el medidor, en una caja de aluminio con tapas de acrílico, material que es “transparente” a las ondas electromagnéticas. La caja de muestra estaba unida a las paredes de la cámara por un marco de aluminio, para que el paso libre de las ondas sea sólo a través de la muestra. Se realizaron ensayos con muestras de fibra de alpaca de 1, 4, 7 y 10 cm.

La disposición la caja de muestra y la de los instrumentos se puede ver en la Figura 3.

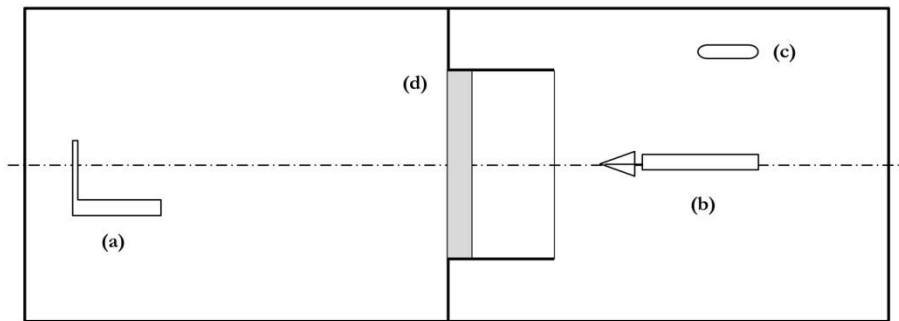


Figura 3: Disposición de instrumentos de recolección de datos: (a) *router*, (b) medidor, (c) filmadora, (d) caja con muestra.

Los instrumentos usados en los ensayos fueron un *router* como emisor, un Analizador Digital de Alta Frecuencia, una cámara filmadora para el registro de las mediciones, un termo-higrómetro, una balanza y un cronómetro.

Para la elaboración de la muestra se utilizó fibra de alpaca peinada estándar de color blanco natural de la Compañía de Productos de Camélidos (COPROCA). La muestra de fibra de alpaca se preparó con una relación de peso/volumen de  $0,119 \text{ [g cm}^{-3}\text{]}$ .

En cada ensayo, tanto al grupo de control como al grupo con muestra (experimental), se les aplicó la prueba de t de Student (diferencia de medias).

Luego se determinó las diferencias entre las mediciones de la preprueba y la posprueba de cada uno de los grupos.

Por último se comparó las diferencias del grupo de control con las diferencias del grupo con la muestra, aplicando la prueba de F y t de Student.

Adicionalmente, y para una verificación más, se realizaron comparaciones de la posprueba del grupo con muestra (experimental) con la preprueba y con la posprueba del grupo de control.

## 7. Resultados

Para cada prueba se registraron 170 mediciones y se realizaron 4 pruebas para cada grosor entre pre y pospruebas.

Se logró establecer la relación de densidades de potencia entre el sistema sin muestra y el sistema con muestra para diferentes grosores de muestras de fibra de alpaca, registrándose una diferencia significativa.

Se encontró que la fibra de alpaca atenúa significativamente la propagación de ondas electromagnéticas de 2,4 GHz provenientes de un *router* Wi-Fi de uso común a grosores de muestra de 1, 4, 7 y 10 centímetros.

Las Figuras 4, 5, 6 y 7 muestran la comparación de las mediciones de densidad de potencia en el sistema con y sin muestra.

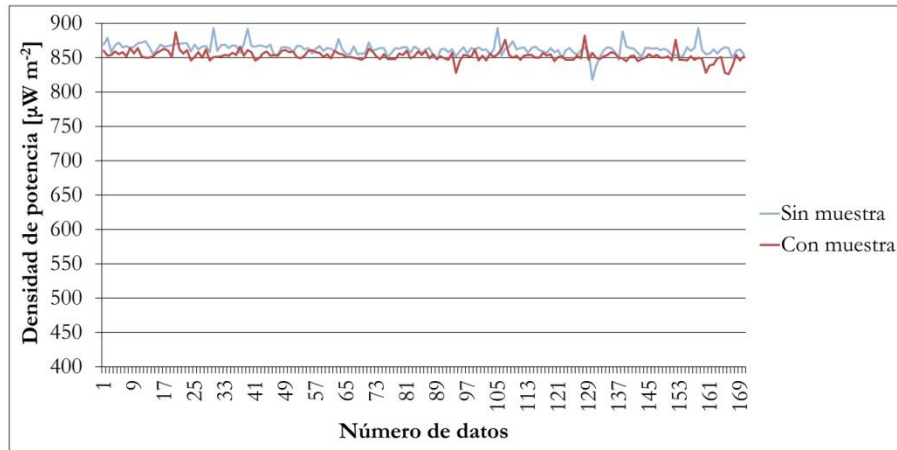


Figura 4: Comparación de mediciones con y sin muestra de 1 [cm] de grosor

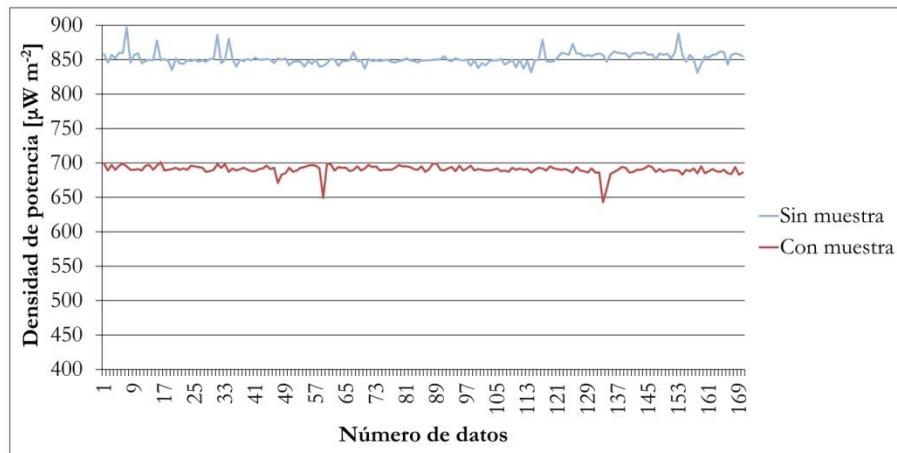


Figura 5: Comparación de mediciones con y sin muestra de 4 [cm] de grosor

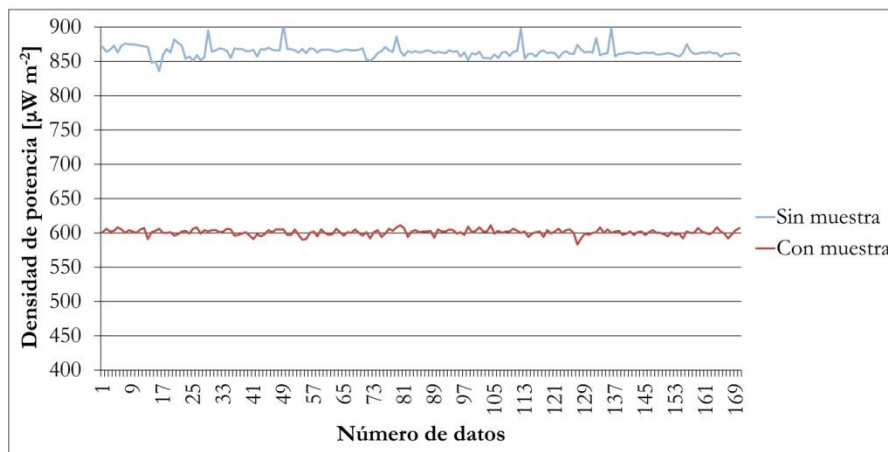


Figura 6: Comparación de mediciones con y sin muestra de 7 [cm] de grosor

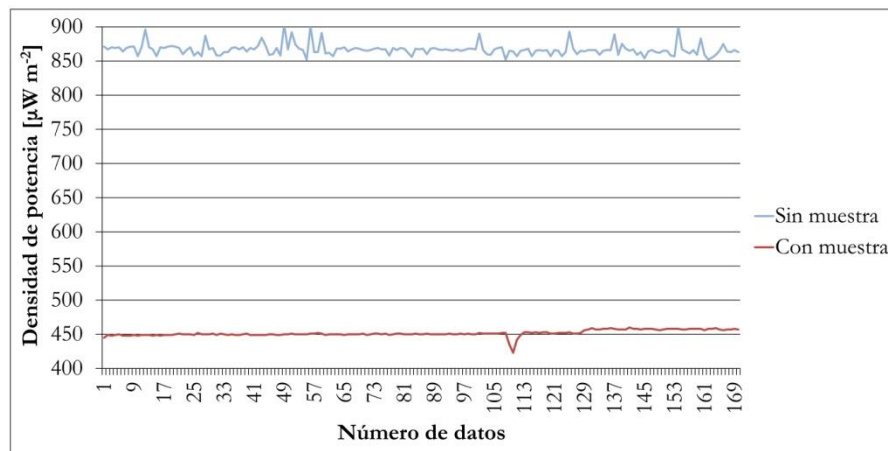


Figura 7: Comparación de mediciones con y sin muestra de 10 [cm] de grosor

La Figura 8 muestra un gráfico comparativo de la disminución de densidad de potencia de acuerdo a los grosores de muestra.

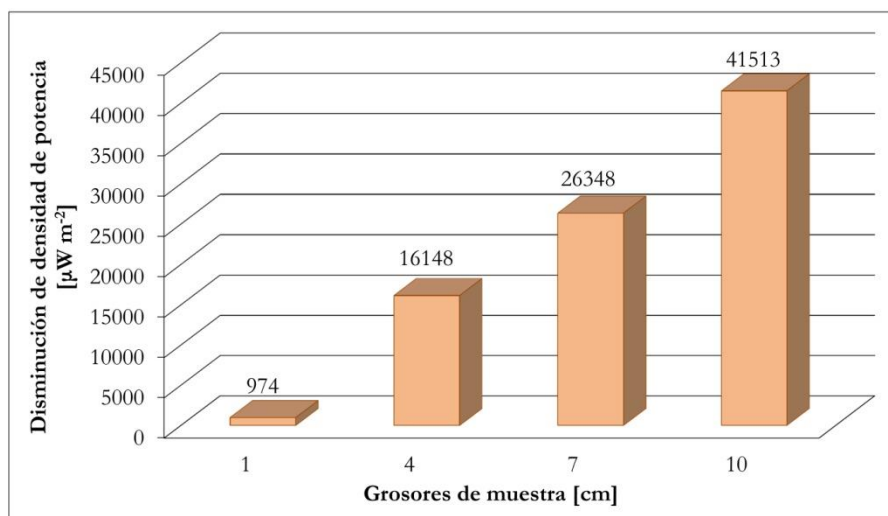


Figura 8: Gráfico de Grosores de muestra vs Disminución de densidad de potencia

Un grosor de muestra de fibra de alpaca de 1 cm redujo la densidad de potencia de 86 256 a 85 282  $\mu\text{W m}^{-2}$ , resultando una diferencia de 974  $\mu\text{W m}^{-2}$ . Un grosor de muestra de 4 cm redujo la densidad de potencia de 85 180 a 69 032  $\mu\text{W m}^{-2}$ , resultando una diferencia de 16 148  $\mu\text{W m}^{-2}$ . Un grosor de muestra de 7 cm redujo la densidad de potencia de 86 437 a 60 089  $\mu\text{W m}^{-2}$ , resultando una diferencia de 26 348  $\mu\text{W m}^{-2}$ . Un grosor de muestra de 10 cm redujo la densidad de potencia de 86 684 a 45 171  $\mu\text{W m}^{-2}$ , resultando una diferencia de 41 513  $\mu\text{W m}^{-2}$ .

Tabla 1. Atenuación producida por las muestras de fibra de alpaca

Grosor [cm]	DP [ $\mu\text{W m}^{-2}$ ]	DP' [ $\mu\text{W m}^{-2}$ ]	SE <sub>dB</sub> [dB]	SE <sub>dB</sub> [%]
1	86 256	85 282	0,05	1
4	85 180	69 032	0,91	19
7	86 437	60 089	1,58	30
10	86 684	45 171	2,83	48

## 8. Análisis y discusión

La densidad de potencia medida en el estudio sin muestra es en promedio 86 139  $\mu\text{W m}^{-2}$ , similar a la densidad de potencia a un metro de distancia de un *router* de uso común de 250 mW de potencia de salida con 9 dBi de ganancia de antena o a

uno de 100 mW de potencia de salida con 9 dBi de ganancia de antena. Estos *routers* de uso domiciliario, producen una densidad de potencia de  $157\,961\ \mu\text{W m}^{-2}$  y  $63\,185\ \mu\text{W m}^{-2}$  a un metro de distancia de la fuente. Por otra parte, se encontraron efectos en la salud humana a densidades de potencia menores a las mencionadas [2] [18] [21]. Por esta razón, es necesario tomar alguna medida precautoria ante la continua exposición a esta tecnología.

De acuerdo a los resultados del presente estudio, el uso de la fibra de alpaca reduciría la probabilidad de ocurrencia de los posibles efectos nocivos mencionados, utilizándola como atenuador de las ondas electromagnéticas de 2,4 GHz provenientes de dispositivos usados en la tecnología Wi-Fi.

La preocupación de organismos internacionales y gobiernos por los daños al medio ambiente producidos por la radiación electromagnética Wi-Fi, hace oportuna la realización de estudios como el presente, como medidas precautorias ante posibles daños.

En este sentido, los resultados obtenidos pueden servir de base para nuevas investigaciones que conduzcan a ampliar el conocimiento acerca de las propiedades de la fibra de alpaca y su uso para la protección de la salud humana ante un riesgo ambiental producido por la emisión de ondas electromagnéticas que exponen a un gran número de personas a diario.

Considerar que la atenuación conseguida en el presente trabajo se logró con una relación de peso/volumen de la muestra de fibra de alpaca mucho menor a la que se obtendría con un tejido de hilos de fibra de alpaca. Luego, un tejido de fibra de alpaca produciría la misma atenuación que la fibra peinada, pero a un grosor mucho menor. Se requerirían pruebas posteriores con grosores de hilo y entramados específicos para determinar la efectividad de diferentes prendas de vestir o productos como tapices, cortinas u otros.

## 9. Conclusiones

La fibra de alpaca atenúa significativamente la propagación de ondas electromagnéticas de 2,4 GHz provenientes de un *router* Wi-Fi de uso común a grosores de muestra de 1, 4, 7 y 10 cm. Se produjo una atenuación de 1% de la radiación inicial para la muestra de 1 cm, 19% para la de 4 cm, 30% para la de 7 cm y 48% para la de 10 cm. La atenuación es directamente proporcional al grosor de la muestra. El diseño y construcción de la cámara anecoica permitió realizar las mediciones de densidad de potencia, en un ambiente controlado.

De acuerdo a los resultados de este estudio, la fibra de alpaca podría ser usada para reducir la probabilidad de sufrir los efectos nocivos en la salud de la radiación electromagnética proveniente de la tecnología Wi-Fi. Como medida precautoria, se

recomienda privilegiar el uso ya tradicional de productos de fibra de alpaca para usos comunes como vestimenta, ropa de abrigo, cobertores y tapices.

Nota: El presente artículo se basa en la Tesis de Grado presentada por la autora para la obtención del grado académico de Licenciatura en Ingeniería Ambiental [27].

## Referencias bibliográficas

- [1] AGRÓNOMOS y Veterinarios sin Fronteras - Bolivia. *Comportamiento del mercado mundial de la fibra de alpaca: ¿Qué perspectivas nos ofrece?* [en línea]. La Paz: Agrónomos y Veterinarios sin Fronteras – Bolivia, 2012 [fecha de consulta: 14 Mayo 2016]. Disponible en: [https://www.avsf.org/public/posts/1559/folleto\\_mercado\\_mundial\\_alpacas\\_feb2013\\_avsf.pdf](https://www.avsf.org/public/posts/1559/folleto_mercado_mundial_alpacas_feb2013_avsf.pdf)
- [2] AVENDAÑO, Conrado, MATA, Ariela, SANCHEZ, César, y DONCEL, Gustavo. Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertility and Sterility* [en línea]. Enero 2012, vol. 97, no. 1. 39–45 [fecha de consulta: 8 Mayo 2016]. DOI 10.1016/j.fertnstert.2011.10.012.
- [3] BALCELLS, Josep, DAURA, Francesc, ESPARZA, Rafael, y PALLÁS, Ramón. *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*. Barcelona: Marcombo, 1992. 428 p. ISBN 84-267-0841-2
- [4] BRITO Flores, Paulina Patricia y LÓPEZ Campos, Mónica Patricia. *Diseño y construcción de una cámara anecoica para la facultad de ingeniería electrónica* [en línea]. Proyecto de grado (Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones). Escuela Politécnica del Ejército de Sangolquí, Ecuador, 2006. [Fecha de consulta: 10 Mayo 2016]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/185/1/T-ESPE-014184.pdf>
- [5] CARBALLAR Falcón, José Antonio. *Wi-Fi: lo que se necesita conocer*. Madrid: RC Libros, 2010. 224 p. ISBN 978-84-937769-0-9
- [6] ÇELİK, Ömer, KAHYA, Mehmet y NAZIROĞLU, Mustafa. Oxidative stress of brain and liver is increased by Wi-Fi (2.45 GHz) exposure of rats during pregnancy and the development of newborns. *Journal of Chemical Neuroanatomy* [en línea]. 28 Octubre 2015. [Fecha de consulta: 8 Mayo 2016]. DOI 10.1016/j.jchemneu.2015.10.005.
- [7] *EL principio de precaución en medio ambiente y salud pública: de las definiciones a la práctica*. Coordinación de obra Jorge RIECHMANN y Joel TICKNER. Barcelona: Icaria, 2002. 157 p. ISBN 84-7426-581-9

- [8] EMBID Tello, Antonio Eduardo. *Retos jurídicos de la Radiación no Ionizante* [en línea]. Tesis doctoral (Derecho Público). Universidad Carlos III de Madrid, 2009. [Fecha de consulta: 13 Marzo 2016]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/7622>
- [9] GARZIA, F. *Handbook of Communications Security*. Southampton: WIT Press, 2013. 680 p. ISBN 978-1-84564-768-1
- [10] INSTITUTO de Seguridad e Higiene en el trabajo. Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España. *NTP 234: Exposición a radiofrecuencias y microondas (I). Evaluación* [en línea]. España: 1989. 9 p. [Fecha de consulta: 5 Mayo 2016]. Disponible en: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp\\_234.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_234.pdf)
- [11] INSTITUTO Nacional de Estadística de Bolivia [INE]. *El departamento de La Paz concentra a 68,8% de la población de alpacas a nivel nacional* [en línea], 2015 [fecha de consulta: 14 Mayo 2016]. Disponible en: [http://www.ine.gob.bo/pdf/boletin/NP\\_2015\\_65.pdf](http://www.ine.gob.bo/pdf/boletin/NP_2015_65.pdf)
- [12] IPASS. *iPass Wi-Fi Growth Map* [en línea]. iPass, 2014 [fecha de consulta: 11 Abril 2016]. Disponible en: <http://www.ipass.com/wifi-growth-map/>
- [13] KRAUS, John Daniel. *Antennas*. 2ª ed. Nueva Delhi: McGraw-Hill, 1997. 895 p. ISBN 0-07-463219-1
- [14] KRAUS, John D. y FLEISCH, Daniel A. *Electromagnetismo con aplicaciones*. 5ª ed. México D.F.: McGraw-Hill, 2000. 669 p. ISBN 978-970-10-2466-9
- [15] KRAUS, John D. y MARHEFKA, Ronald J. *Antennas*. 3ª ed. Singapur: McGraw-Hill Education, 2001. 938 p. ISBN 978-0071232012
- [16] LEY 2015-136 de 9 de febrero del año 2015 sobre la sobriedad, la transparencia, la información y consulta con respecto a la exposición a las ondas electromagnéticas (1) [en línea]. Gaceta Oficial de Francia, París, Francia, 10 de febrero de 2015. Disponible en: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/loi/2015/2/9/DEVX1402671L/jo/texte>
- [17] LOCKUÁN Lavado, Fidel Eduardo. *VII. La industria textil y su control de calidad: Tapuyu Kusayki*. 2012. Disponible en: <http://www.bubok.es/libros/218096/VII-La-industria-textil-y-su-control-de-calidad-Tapuyu-Kusayki>
- [18] MAGANIOTI, Argiro E., PAPAGEORGIU, Charalabos C., HOUNTALA, Chrissanthi D., KYPRIANOU, Miltiades A., RABAVILAS, Andreas D., PAPADIMITRIOU, George N., y CAPSALIS, Christos N. Wi-Fi electromagnetic fields exert gender related alterations on EEG [en línea].



- 6th International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic fields*. Bodrum: 10-14 Octubre 2010 [fecha de consulta: 10 Mayo 2016] Disponible en: <http://wifiinschools.org.uk/resources/Maganioti+etal+2010.pdf>.
- [19] MAISCH, Donald Raymond. *The Procrustean Approach. Setting Exposure Standards for Telecommunications Frequency Electromagnetic Radiation* [en línea]. Tesis Doctoral (Doctor en Filosofía, Programa de Ciencia, Tecnología y Sociedad de la Facultad de Artes). Universidad de Wollongong, Australia, 2010. [Fecha de consulta: 7 Mayo 2016]. Disponible en: <http://www.emfacts.com/the-procrustean-approach/>
- [20] NOVOA M., C. *Camélidos Sudamericanos* [en línea]. Argentina: Sitio Argentino de Producción Animal, 2007 [fecha de consulta: 5 Junio 2016]. Disponible en: [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_de\\_camelidos/camelidos\\_general/119-fao.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_de_camelidos/camelidos_general/119-fao.pdf)
- [21] ONI, Olatunde Michael, AMUDA, Dauda Biodun y GILBERT, Celestine Etumonu. Effects of radiofrequency radiation from Wi-Fi devices on human ejaculated semen. *International Journal of Recent Research and Applied Studies* [en línea]. Noviembre 2011, vol. 9, no. 2. 292-294 [fecha de consulta: 10 Mayo 2016] Disponible en: [http://arpapress.com/Volumes/Vol9Issue2/IJRRAS\\_9\\_2\\_13.pdf](http://arpapress.com/Volumes/Vol9Issue2/IJRRAS_9_2_13.pdf).
- [22] ORGANIZACIÓN Mundial de la Salud [OMS]. *Resumen de los límites de exposición recomendados por la ICNIRP* [en línea], 2016 [fecha de consulta: Abril 2016]. Disponible en: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index4.html>
- [23] PAPAGEORGIOU, Charalabos C., HOUNTALA, Chrissanthi D., MAGANIOTI, Argiro E., KYPRIANOU, Miltiades A., RABAVILAS, Andreas D., PAPADIMITRIOU, George N. y CAPSALIS, Christos N. Effects of wi-fi signals on the p300 component of event-related potentials during an auditory hayling task. *Journal of Integrative Neuroscience* [en línea]. Junio 2011, vol. 10, no. 2. 189-202 [fecha de consulta: 8 Mayo 2016] ISSN 1757-448X DOI: 10.1142/S0219635211002695.
- [24] PEÑA, Carlos E., CARTER, Dean E. y AYALA-FIERRO, Felix. *Toxicología ambiental. Evaluación de riesgos y restauración ambiental* [en línea]. Arizona: Southwest Hazardous Waste Program, 2001. 203 p. [Fecha de consulta: 17 Mayo 2016]. Disponible en: <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>
- [25] PRESS Release N 208. *IARC classifies radiofrequency electromagnetic fields as possibly carcinogenic to humans* [en línea]. International Agency for Research on Cancer [IARC]. Lyon, 31 de Mayo de 2011. [Fecha de consulta: 17 Marzo 2016].

Disponible en: [http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208\\_E.pdf](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf)

- [26] QUISPE, E., RODRÍGUEZ, T. e IÑIGUEZ, L. Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources Information* [en línea]. Octubre 2009, vol. 45. 1-14 [fecha de consulta: 12 Abril 2016] DOI 10.1017/S101423390990277.
- [27] RAMÍREZ Sahonero, Ibelice del Pilar. *Determinación de la capacidad de la fibra de alpaca para atenuar la contaminación por radiación electromagnética Wi-Fi*. Tesis de grado (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). La Paz, Bolivia: Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Facultad de Ingeniería, 2016. 193 p.
- [28] RASHID, Muhammad H. *Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones* 3ª ed. México: Pearson Educación, 2004. 904 p. ISBN 970-26-0532-6
- [29] SHOKRI, Saeed, SOLTANI, Aiob, KAZEMI, Mahsa, SARDARI, Dariush y MOFRAD, Farshid. Effects of Wi-Fi (2.45 GHz) Exposure on Apoptosis, Sperm Parameters and Testicular Histomorphometry in Rats: A Time Course Study. *Cell Journal* [en línea]. 11 Julio 2015, vol. 17, no. 2. 322-331 [fecha de consulta: 8 Mayo 2016]. Disponible en: <http://celljournal.org/web/journal/article/abstract/3740>.
- [30] SUPERINTENDENCIA de Telecomunicaciones del Gobierno de Bolivia. *Estándar Técnico. Límites de exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuenci.* [en línea], 2002 [fecha de consulta: Abril 2016]. Disponible en: [http://www.oopp.gob.bo/vmtel/uploads/RAR\\_N%C2%BA\\_2002-0313.pdf](http://www.oopp.gob.bo/vmtel/uploads/RAR_N%C2%BA_2002-0313.pdf)
- [31] TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. 4ª ed. México: Pearson Educación, 2003. 976 p. ISBN 970-26-0316-1
- [32] UNITED Nations. *The Millennium Development Goals Report* [en línea]. Nueva York: United Nations, 2015 [fecha de consulta: 1 Mayo 2016]. ISBN 978-92-1-101320-7. Disponible en: [http://www.un.org/millenniumgoals/2015\\_MDG\\_Report/pdf/MDG%2015%20rev%20%28July%201%29.pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%2015%20rev%20%28July%201%29.pdf).
- [33] VOGEL, Veronika. y GEHDE, Michael. Composites for shielding electromagnetic radiation. En: Society of Plastics Engineers. *ANTEC 2015 - Proceedings of the Technical Conference & Exhibition* [en línea]. Orlando, Florida, USA: Society of Plastics Engineers, 23-25 Marzo 2015, 738-742 [fecha de consulta: 17 Mayo 2016]. ISBN 978-1-5231-0020-0. Disponible en: [https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kp1W0PS002/viewerType:toc/root\\_slug:antec-2015-proceedings](https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kp1W0PS002/viewerType:toc/root_slug:antec-2015-proceedings).

- [34] YOO, Young Joon, JU, Sanghyun, PARK, Sang Yoon, KIM, Young Ju, BONG, Jihye, LIM, Taekyung, KIM, Ki Won, RHEE, Joo Yull y LEE, YoungPak. Metamaterial Absorber for Electromagnetic Waves in Periodic Water Droplets. *Scientific Reports* [en línea]. 10 Septiembre 2015, vol. 5 [fecha de consulta: 21 Junio 2016]. DOI 10.1038/srep14018.
- [35] YÜKSEL, Murat, NAZIROĞLU, Mustafa y ÖZKAYA, Mehmet. Long-term exposure to electromagnetic radiation from mobile phones and Wi-Fi devices decreases plasma prolactin, progesterone, and estrogen levels but increases uterine oxidative stress in pregnant rats and their offspring. *Endocrine* [en línea]. 14 Noviembre 2015, vol. 52, no. 2, 352-362 [fecha de consulta: 10 Mayo 2016]. DOI: 10.1007/s12020-015-0795-3.
- [36] ZAPATA, O. *La aventura del pensamiento crítico. Herramientas para elaborar tesis e investigaciones socioeducativas*. 1ª ed. México D. F.: Pax México, 2005. 295 p. ISBN 968-860-486-0
- [37] ZÁRATE Zavaleta, Ángel. *Guía Técnica. Asistencia técnica en caracterización y clasificación de fibra de alpaca* [en línea]. Huancavelica: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2012 [fecha de consulta: 5 Abril 2016]. Disponible en: <http://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/005-a-alpaca.pdf>