



Caracterización eco-geográfica de Melloco (*Ullucus tuberosus* C.) en la región alto Andina del Ecuador

Ecogeographic characterization of Melloco (*Ullucus tuberosus* C.) in the high Andean region of Ecuador

Autores: Edwin Jesús Naranjo Quinaluisa¹
César Guillermo Tapia Bastidas²
Roberto Javier Velázquez Feria³
Yudemir Cruz Pérez⁴
Angélica Hipatia Delgado Pilla⁵
Edwin José Borja Borja⁶
Nelly Judith Paredes Andrade⁷

Dirección para correspondencia: edwin.naranjo@iniap.gob.ec

Recibido: 2017-09-22

Aceptado: 2018-06-11

Resumen

El estudio se llevó a cabo en la región alto Andina del Ecuador, utilizando la colección nacional de Melloco (*Ullucus tuberosus* C.), perteneciente al Banco Nacional de Germoplasma del INIAP. El objetivo fue evaluar las características de los sitios de colecta, identificar rangos climáticos y ecosistemas favorables o marginales para el cultivo. Para la caracterización se utilizó información georeferencial de puntos de colecta y 13 variables climáticas, geofísicas y edáficas. Se generó un Mapa de Caracterización Eco-geográfica del Terreno Específico

¹ Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Quito-Ecuador

² Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Quito-Ecuador. E-mail: cesar.tapia@iniap.gob.ec

³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma, Cuba. E-mail: rvelazquezf@udg.co.cu

⁴ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma, Cuba. E-mail: cruzperezjudemir@gmail.com

⁵ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, Quito, Ecuador. E-mail: hipatia.delgado@fao.org

⁶ Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Valencia, España. E-mail: bbenkas@yahoo.com

⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonía, Orellana, Ecuador. E-mail: nelly.paredes@iniap.gob.ec

(mapa ELC) aplicando la herramienta CAPFITOGEN y estadística descriptiva. Como resultados se identificaron categorías que establecen los rangos adaptativos en el cultivo, con 22 categorías definidas por el mapa ELC y el 39% (73) de las accesiones fueron colectadas en las categorías con rangos de temperatura de 11 °C a 13 °C, bajo contenido de materia orgánica, pendiente ligeramente inclinada, suelo franco arenoso, poco profundos y un pH moderadamente ácido. Las variables ambientales para las categorías más frecuentes presentaron valores promedios de temperatura entre 5 - 20 °C, una precipitación que oscila entre 379 - 3764 mm, con un rango de altitud entre los 1800 - 3800 msnm, pendiente de 8 - 9° y un pH de 5,7. Los mapas de caracterización eco-geográfica resultaron de utilidad para identificar zonas adecuadas para el melloco y otros tubérculos andinos en Ecuador, y conocer los rangos eco-geográficos para dicho cultivo.

Palabras clave: Adaptación de las plantas; Biodiversidad; Conservación de recursos; Mapa; pH.

Abstract

The study was carried out in the high Andean region of Ecuador using the National collection of Melloco (*Ullucus tuberosus* C.), which belongs to the National Germplasm Bank of INIAP. The objective was to evaluate the characteristics of the collection sites, identify climatic ranges and favorable or marginal ecosystems for cultivation. For the characterization, georeferential information of collection points and other climatic, geophysical and edaphic variables were used. An Eco-geographic Characterization Map of the specific Land (ELC map) was generated applying the tool CAPFITOGEN and descriptive statistics. As results, categories that establish the adaptive ranges in the crop were identified, with 22 categories defined by the ELC map. 39% (73) of the accessions were collected in the categories with temperature ranges from 11°C to 13°C, low content of organic matter, slope slightly inclined, sandy loam soil, shallow and a pH moderately acidic. The environmental variables for the most frequent categories presented average values of temperature between 5 – 20°C, a precipitation that oscillates between 379 – 3764 mm, with an altitude range between 1800 – 3800 masl, slope of 8 – 9° and pH of 5.7. The eco – graphical characterization maps were useful to identify suitable areas for melloco and other Andean tubers in Ecuador, and to know the eco – geographic ranges for the studied crop.

Keywords: Plant adaptation; Biodiversity; Resources conservation; Maps; pH.

Introducción

El melloco es un cultivo domesticado en las montañas de Los Andes de Perú, Bolivia, Colombia, Ecuador y del norte de Argentina (Springer Netherlands, 2015). Al igual que la mayoría de los tubérculos Andinos (TAs), muestra una importante variabilidad fenotípica intra-específica e inter-específica (Bonnave,

Bleeckx, Terrazas y Bertin, 2015). Esta especie posee tubérculos que varían en formas, tamaño, con superficie brillante, pulpa feculenta y mucilaginosa; la coloración de los tubérculos es muy variada y atrayente, de color verde claro, amarillo, con manchas púrpuras (Surco, 2004).

Se cultiva entre los 2 500 y 4 250 m de altitud (Parra-Quijano, Panda, Rodríguez, y Torres, 2012), adaptándose a zonas templadas y altas, frías y húmedas con tolerancia parcial a heladas y sequías; tolera una amplia gama de condiciones del suelo prosperando mejor en suelos arcillosos fértiles, bien drenados, ricos en materia orgánica, con un pH entre 5,5 y 6,5 (Springer Netherlands, 2015).

En Ecuador es el segundo tubérculo en importancia después de la papa y es parte de la alimentación de la población tanto de las zonas urbanas como rurales, sobre todo en épocas de escasez de papa, cuya producción genera un ingreso adicional a los agricultores Andinos, así como una nutritiva dieta alimenticia (Barrera, Tapia, Monteros, y (eds)., 2004).

Desde el punto de vista nutricional, el tubérculo presenta materia seca que oscila entre 14 y 20%, la proteína varía de 4,4 a 15,7%, los carbohidratos de 73,5 a 81%, la grasa de 0,1 a 1,4%, la ceniza de 2,8 a 4,0% y la fibra cruda de 3,6 a 5,0%; mientras que la composición calórica varía de 377 a 381 Cal/100 g de materia seca (Basantes, 2015).

Lamentablemente de la alta diversidad que existe en la región Andina, se han ido perdiendo variedades locales de las fincas de los agricultores como lo demuestra el estudio de cuantificación de erosión genética realizado por Nieto (2004), con una pérdida de 37% de variedades tradicionales en las zonas altas de Ecuador. Para evitar este incremento de erosión, es necesario plantear estrategias emergentes de conservación *in situ* en las áreas de alta variabilidad (Parra-Quijano, Draper, Torres y Iriondo, 2008).

En este sentido, el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP está realizando actividades sobre su uso, manejo y conservación *ex situ*, así como ferias de intercambio de semillas que han permitido la restitución de variedades nativas hacia los agricultores (Barrera *et al.*, 2004). Además en las dos últimas décadas se realizó la caracterización morfológica basándose en descriptores discriminantes relacionados al tubérculo como: color primario y secundario, forma, largo, ancho, peso de tubérculos y días a la madurez, teniendo como resultado siete morfotipos. De igual forma, en los últimos años el INIAP ha emprendido en la caracterización eco-geográfica de maíz y maní (Tapia, 2015; Vásquez, 2015), utilizando herramientas informáticas como es el caso de ECOGEO del programa CAPFITOGEN, que realiza análisis de la información ambiental del sitio donde crece un individuo o una población vegetal, directamente relacionada con proceso de adaptación al entorno biótico o abiótico, esto ha permitido un mayor conocimiento de los rangos a la

adaptación de los cultivos a determinadas áreas agroecológicas (Parra-Quijano, Torres, Irriondo, y López, 2015).

Sobre la base de lo expuesto, se planteó como pregunta científica: ¿Cuáles son las características eco-geográficas del melloco en la región alto Andina del Ecuador? y producto de esto, se generó el objetivo que fue evaluar las características de los sitios de colecta, identificar rangos climáticos y ecosistemas favorables o marginales para este cultivo. Lo que permitió visualizar los diferentes escenarios adaptativos de la especie en estudio a lo largo del territorio y de esta manera determinar las zonas de mayor diversidad, para priorizar áreas de conservación de los recursos fitogenéticos.

Metodología

El área de estudio se encuentra en la región alto Andina del Ecuador, con un relieve irregular donde predominan pendientes suaves ($< 5^\circ$) en la zona de los valles y fuertes (entre 15 y 25°) en la zona montañosa (Tapia, Torres y Parra-Quijano, 2015). Las variaciones en la altitud y la topografía muy irregular del área de estudio favorecen la existencia de numerosos microclimas. La temperatura media anual varía entre $4,50$ y 20°C , las temperaturas mínimas llegan a registrar valores de $-0,3^\circ\text{C}$ y las máximas nunca por encima de 20°C . La precipitación anual registra una media de 857 mm (World Climate, 2016). La estación seca se extiende entre junio y septiembre, y en ocasiones suele ser muy pronunciada (Tapia, 2015).

Los suelos son fértiles, aunque hay variaciones a través de distancias cortas debido a la pendiente y la altitud; con suelos en el centro sur profundos de textura media a gruesa y un contenido de medio a alto de materia orgánica, y en el sur, suelos de textura fina y de poca profundidad con bajo contenido de materia orgánica (Zebrowski y Sourdat, 1997).

Colecciones de germoplasma

Se trabajó con la información de las coordenadas geográficas proveniente de 187 accesiones de la colección nacional de melloco del Banco Nacional de Germoplasma del INIAP, establecida entre los años de 1993 y 1999. Este germoplasma se encuentra conservado ex situ bajo la modalidad in vitro y en campo.

Mapa de caracterización eco-geográfica del terreno o ELC

Para definir los entornos en los que se cultiva el germoplasma de la colección de melloco, se realizó un mapa de caracterización eco-geográfica del terreno (ELC) específico utilizando la herramienta CAPFITOGEN (Parra-Quijano et al., 2015). Se utilizó una resolución para la generación del mapa de 1×1 km, 30 segundos de arco. Mediante “bioclimv” se seleccionaron 13 variables: seis climáticas (Temperatura promedio anual, Temperatura mínima de diciembre, Rango de temperatura media anual, Precipitación anual, Precipitación media de octubre, Estacionalidad en la precipitación), dos geofísicas (Altitud y Pendiente) y cinco

edáficas (Profundidad del suelo, Contenido de grava en el suelo, Textura del suelo, Contenido de carbón orgánico en el suelo, pH en el suelo), que se incluyeron para generar el mapa. Se utilizaron las coordenadas geográficas latitud y longitud; se empleó el parámetro “maxg” donde se generó el número de agrupamientos por componente (bioclimático, geofísico y edáfico) y, “resultados” que generó el mapa y las tablas para su análisis.

Caracterización eco-geográfica

La caracterización eco-geográfica se realizó basándose en los siete morfotipos identificados mediante la caracterización morfológica realizada en las dos últimas décadas por Barrera et al. (2004). Se utilizó la herramienta ECOGEO, que se encarga de extraer la información eco-geográfica para los sitios de colecta, calculando su valor medio y asignando este valor a las entradas, repitiendo este proceso para todas las variables eco-geográficas en estudio. Dentro de esta herramienta se utilizaron los siguientes parámetro: “buffy”, que permitió extraer la información para el punto de colecta o sus alrededores, “tamp” especifica el radio en kilómetros del área de los sitio de recolección, donde se extrajo la información eco-geográfica, “bioclimsn” para el uso de las variables identificadas.

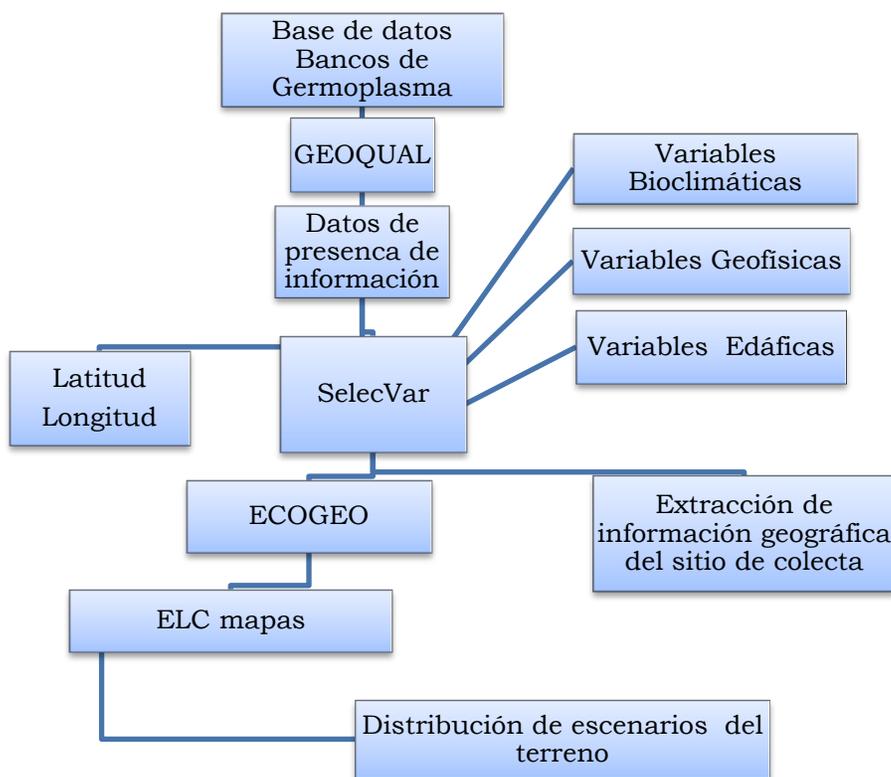


Figura 1. Flujo grama del análisis CAPFITOGEN

Análisis estadístico

Para las variables cuantitativas se calcularon los siguientes estadísticos descriptivos: máximo, mínimo, primer cuartil (Q1), tercer cuartil (Q3), media y desviación estándar. Adicionalmente, se calculó el coeficiente de variación de Pearson (CV) para identificar las variables y morfotipos que presenten mayor dispersión relativa de los datos. Para las variables que no presentaron una distribución normal y no fue posible normalizar los datos, se utilizó el coeficiente de correlación por rangos de Spearman para evaluar el grado de asociación entre las variables.

La herramienta ELC aportó la opción para desarrollar mapas de caracterización eco-geográfica del terreno mediante el uso del paquete estadístico R. Para ELC mapas se utilizó el sistema simple que usa como algoritmo de agrupamiento K-means con determinación de punto de corte basado en la disminución de la suma de cuadrados intra-grupo (Ketchen y Shook, 1996). Este método, también conocido como de “elbow” o codo, donde el número de grupos óptimo es el alcanzado cuando la disminución de la sumas de cuadrados intra-grupos entre una solución de n y una de $n+1$ grupos es menor del 50% (Parra-Quijano et al., 2015).

Resultados

El mapa ELC identificó 22 categorías eco-geográficas (Figura 2). Las categorías más frecuentes fueron la seis (32,06%) y la 14 (31,33%), con rangos de temperatura anual entre 11 °C a 13 °C, bajo contenido de materia orgánica, pendiente ligeramente inclinada, suelo franco arenoso, poco profundos y un pH moderadamente ácido, mientras que las categorías menos frecuentes fueron la 17 y 21, con valores menores al 0,01%, con rangos de temperatura anual entre 11 °C a 12 °C, bajo y medio contenido de materia orgánica, pendiente plana, suelo franco y franco arcilloso, moderadamente profundos y pH ácido, dichas categorías fueron analizadas en la región Andina, mediante una resolución de 1x1 km, 30 segundos de arco, obteniendo un total de 63 671 celdas, de las cuales 20 417 celdas corresponden a la categoría seis y 19 949 a la categoría 14.

Los resultados obtenidos a nivel de los siete morfotipos obtenidos mediante la caracterización morfológica evidencian diferencias en el grado de variabilidad reflejada en el coeficiente de variación promedio (Tabla 2). Los morfotipos que presentaron mayor heterogeneidad en cuanto a las condiciones climáticas de los puntos de colecta fueron el morfotipo dos que se caracteriza por presentar menor número de tubérculos por planta (32,66%) y el morfotipo seis (29,01%), mientras que el morfotipo tres, que presenta color purpura grisáceo de tubérculo (23,43%) resultó ser el más homogéneo. Para la temperatura promedio anual la mayor variabilidad se presentó en los morfotipos dos (CV= 25,33%) y seis (CV= 24,95%). Con relación a la temperatura mínima de diciembre, precipitación anual y la precipitación media de octubre la mayor heterogeneidad la mostró el morfotipo dos con CV= 42,04%, CV= 31,93% y CV=

43,12%, respectivamente, sin embargo, para la estacionalidad en la precipitación fue el morfotipo cuatro (CV= 42,04%).

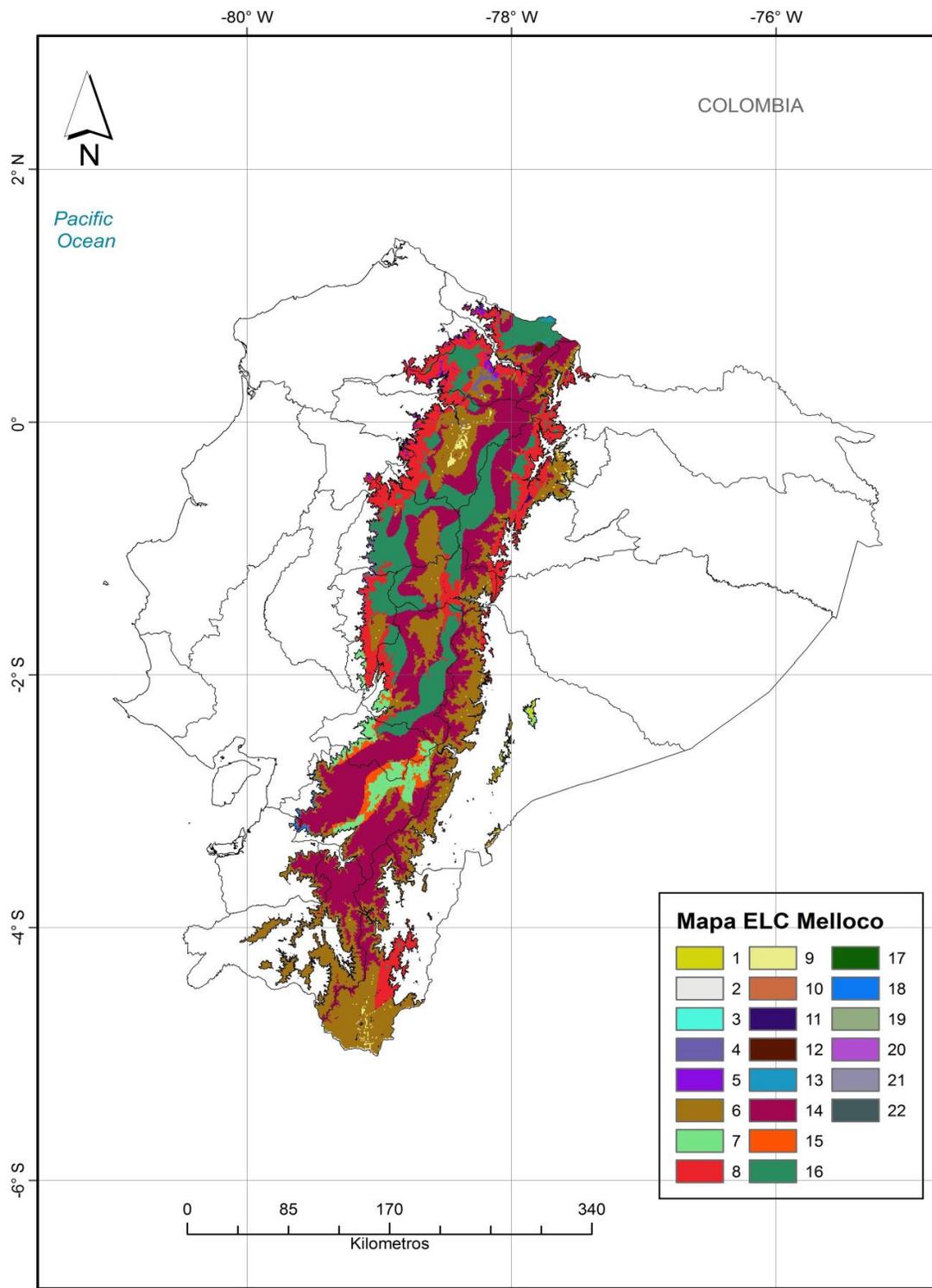


Figura 2. Mapa específico de caracterización eco-geográfica de melloco

Las estadísticas para las seis variables bioclimáticas y las dos geofísicas de 187 accesiones de melloco (Tabla 1). Se evidencian que entre las variables climáticas, el rango de temperatura media anual presentó el menor CV y la estacionalidad en la precipitación el mayor.

Tabla 1. Variabilidad climática y geofísica de 187 accesiones de melloco

Variabes	(mín-máx)	(Q1-Q3)	$\mu \pm \sigma$	CV (%)
Temperatura promedio anual, °C	4.50-20.80	10.70-13.60	12.01-2.55	21.19
Temperatura mínima diciembre, °C	-0.30-15.30	5.20-8.10	6.76-2.45	36.19
Rango de temperatura media anual, °C	9.90-14.50	10.80-13.40	12.06-1.35	11.19
Precipitación anual, mm	484-1451	708-962	871.48-224.49	25.76
Precipitación media octubre, mm	26-139	55-98	76.63-25.59	33.4
Estacionalidad en la precipitación, mm	17-79	26-47	39.33-15.12	38.45
Altitud, msnm	1471-4179	2711-3230	2953.98-434.19	14.7
Pendiente, °	0.0-20	3-8	5.94-3.90	65.66

Tabla 2. Variación por morfotipo para las variables bioclimáticas y geofísicas de 187 accesiones de melloco

Morfotipo	Bioclimáticas							Geofísicas		
	TMA	TMD	RTA	PA	PMO	ESP	$C\bar{V}$	ALT	PEN	$C\bar{V}$
Morf 1	21.99	38.24	11.55	26.51	29.80	37.73	27.64	13.39	46.63	30.01
Morf 2	25.33	42.04	11.98	31.93	43.12	41.58	32.66	18.73	73.81	46.27
Morf 3	14.37	25.33	11.81	21.09	30.90	37.05	23.43	12.02	53.93	32.98
Morf 4	20.49	33.88	10.82	21.18	30.74	42.04	26.53	14.87	69.62	42.25
Morf 5	17.83	30.75	11.44	21.08	28.93	36.19	24.37	12.88	51.31	32.10
Morf 6	24.95	41.91	11.31	27.61	30.90	37.38	29.01	16.49	71.79	44.14
Morf 7	21.39	38.66	10.84	27.99	34.63	27.25	26.79	13.93	83.48	48.71

$C\bar{V}$: Coeficiente de variación promedio TMA: temperatura media anual, TMD: temperatura mínima de diciembre, RTA: rango de temperatura anual, PA: precipitación anual, PMO: precipitación media de octubre, ALT: altitud, PEN: pendiente.

Con respecto al mayor rango de variación en los siete morfotipos en melloco (Tabla 3), en la temperatura promedio anual se identificó al morfotipo dos (13,4 °C) y con menor rango al morfotipo tres (7,2 °C). En lo que se refiere a la temperatura mínima de diciembre, el mayor rango de variación se registró en el morfotipo dos con 13,3 °C. Para la precipitación anual y la precipitación media de octubre, el mayor rango lo tuvo el morfotipo dos con 967 mm y 113 mm, respectivamente. La variable estacionalidad en la precipitación mostró mayor rango de variación en el morfotipo cinco, que presenta precosidad y mayor número de tubérculos (58 mm).

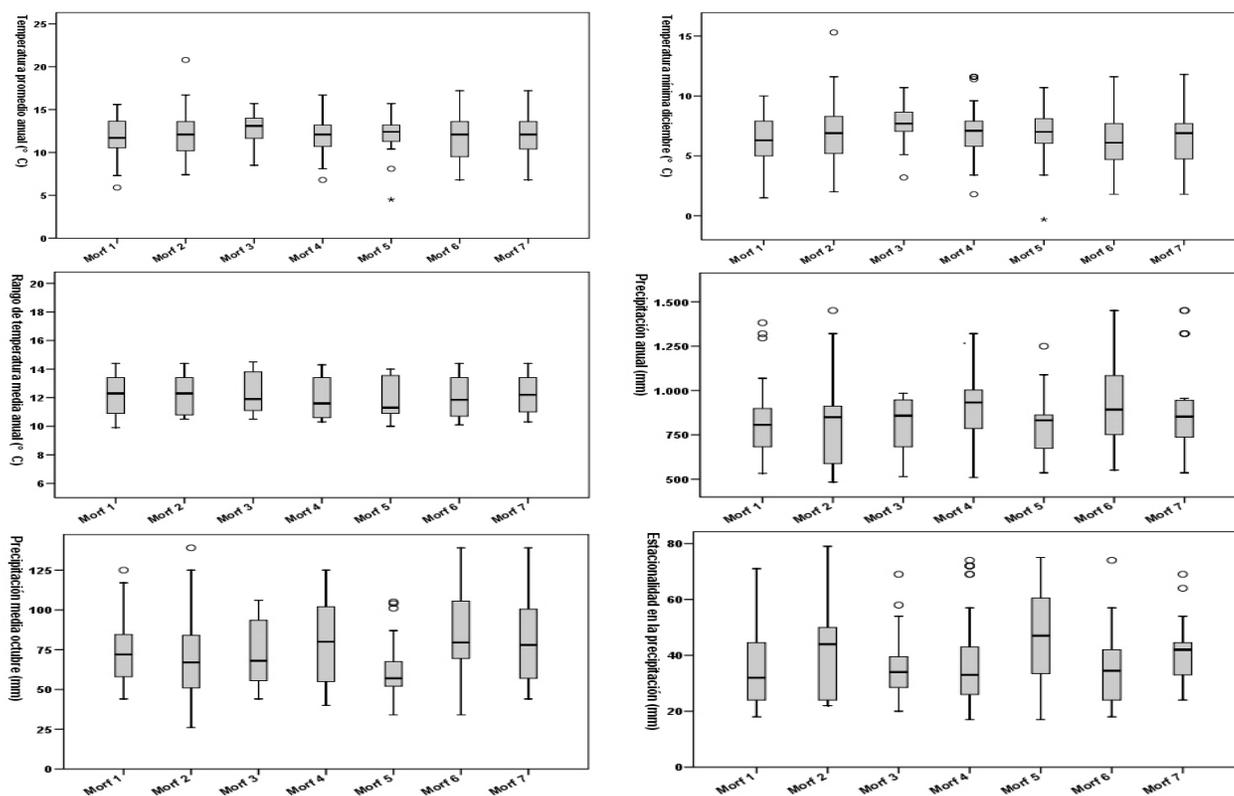
En la Figura 3 de diagrama de cajas por variable climática, se observa una gran homogeneidad de temperatura promedio anual en la mayoría de los morfotipos con un rango entre 5 a 18 °C, sólo el morfotipo dos registra temperaturas mayores a los 20 °C y el morfotipo cinco menores a 5 °C. Para la temperatura

mínima de diciembre, al igual que la variable anterior, solo el morfotipo dos presenta sitios con temperaturas superiores a los 12 °C y el morfotipo cinco temperaturas inferiores a 0 °C; el resto de los morfotipos se encuentran en un parámetro entre 5 °C a 12 °C. Para el rango de temperatura media anual, los siete morfotipos presentan homogeneidad entre ellos.

Tabla 3. Rangos de variación por morfotipo para las variables bioclimáticas y geofísicas de 187 accesiones de melloco

Morfotipo	Bioclimáticas						Geofísicas	
	TMA	TMD	RTA	PA	PMO	ESP	ALT	PEN
Morf 1	9.7	8.5	4.5	849	81	53	1,425	12
Morf 2	13.4	13.3	3.9	967	113	57	2,248	13
Morf 3	7.2	7.5	4.0	470	62	49	1,330	10
Morf 4	9.9	9.8	4.0	811	85	57	1,712	20
Morf 5	11.2	11.0	4.0	714	71	58	1,911	14
Morf 6	10.4	9.8	4.3	899	105	56	1,785	16
Morf 7	10.4	10.0	4.1	915	95	45	1,734	20

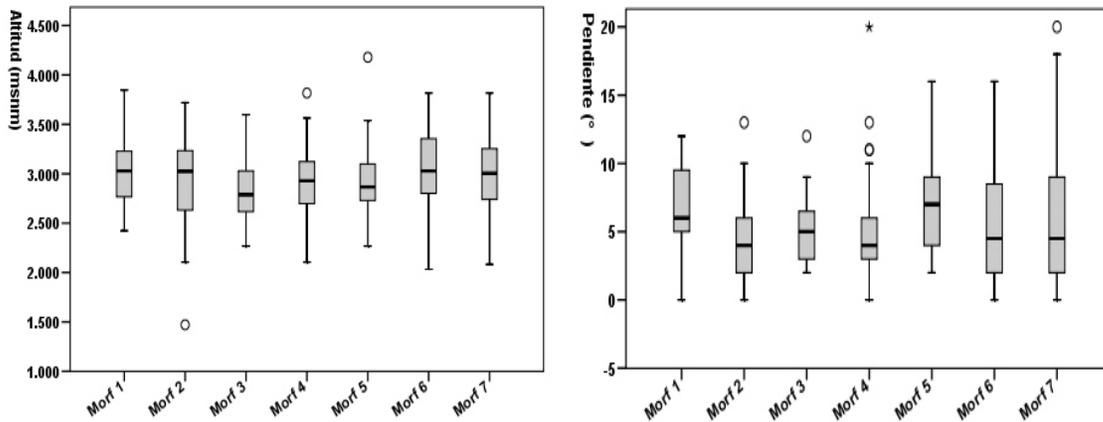
TMA: temperatura media anual, TMD: temperatura mínima de diciembre, RTA: rango de temperatura anual, PA: precipitación anual, PMO: precipitación media de octubre, ALT: altitud, PEN: pendiente.



Círculos representa “valores atípicos” (casos con valores entre 1.5 y 3 longitudes de caja del borde superior o inferior de la caja), los asteriscos presentan “extremos” (casos con valores de más tres longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja).

Figura 3. Variabilidad climática para morfotipos de 187 accesiones de melloco

Para la variable pendiente (Figura 4) de los siete morfotipos, el 54% de las accesiones presentaron pendientes planas (0° y 5°), el 40% las registró ligeramente inclinadas (entre 5° y 12°) y el 6% moderadamente onduladas (entre 12° y 25°). La altitud presenta valores mínimos de 1 471 m y máximos de 4 179 m, siendo el morfotipo dos el que registra altitud más bajo y el morfotipo cinco con altitud más alto.



Círculos representa “valores atípicos” (casos con valores entre 1.5 y 3 longitudes de caja del borde superior o inferior de la caja), los asteriscos presentan “extremos” (casos con valores de más tres longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja).

Leyenda: Morf – Morfotipo

Figura 4. Variabilidad geofísica para los morfotipos de 187 accesiones de melloco

En las variables edáficas, se pudieron identificar que el 87 % de las accesiones se desarrollan en suelos moderadamente profundos (50-100 cm) y 13 % en suelos pocos profundos (20-50 cm). En el contenido de grava el 81 % de accesiones presentaron suelos sin grava ($<10\%$), el 13 % suelos con poca grava (10-25 %) y el 6 % mostraron suelos con cantidad de grava frecuente. La textura del suelo 133 accesiones que representa el 71 % registran textura moderadamente gruesa tipo franco arenoso y franco areno limoso, el 28 % presentan textura media tipo franco y el 1 % suelos con textura fina tipo arcilloso. Se identificó el 82 % de las accesiones se colectaron en suelos con bajo contenido de carbón orgánico ($<2.6\%$), el 13 % en suelos con medio contenido de carbón orgánico (2.6 - 5.3 %) y el 5 % mostraron suelos con alto contenido de carbón orgánico ($>5.3\%$). En lo que concierne al pH del suelo 76 accesiones que representa el 40 % presentaron suelos ácidos (pH entre 4.5 - 5.5), el 39 % suelos ligeramente ácidos (pH entre 5.6-6.5), el 12 % suelos neutros (pH entre 6.6 - 7.4) y con el 9 % suelos moderadamente alcalinos (pH entre 7.5 - 8.5) (Figura 5).

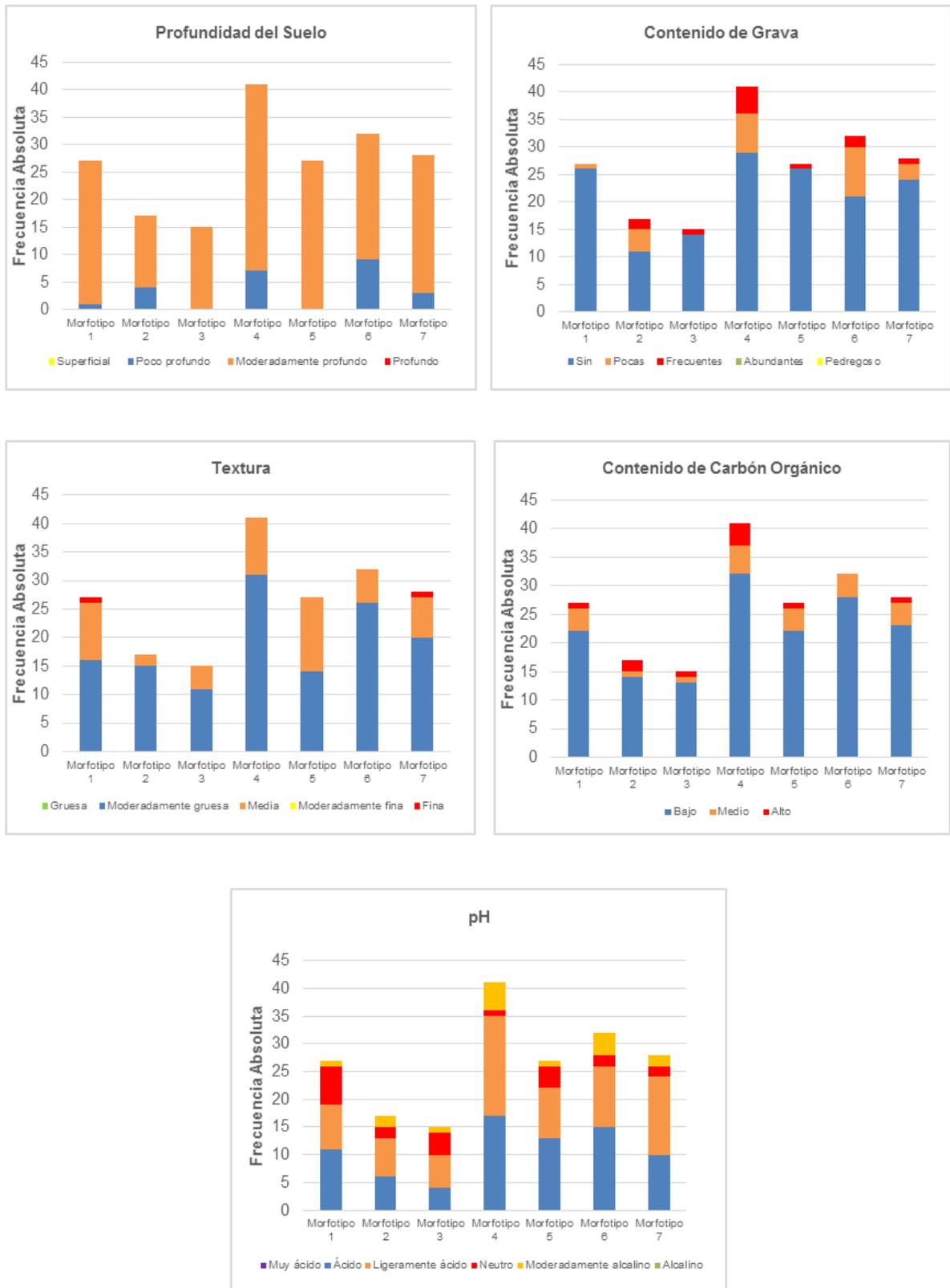


Figura 5. Variabilidad edáfica por morfotipo de 187 accesiones de melloco

Discusión

El mapa ELC para melloco permite visualizar diferentes escenarios ambientales que pueden corresponderse con los diferentes procesos adaptativos de esta especie a lo largo de la Sierra ecuatoriana, (Parra-Quijano et al., 2015), así como apoyar a la identificación de áreas prioritarias para la conservación in situ. Este mapa indica que la variabilidad de melloco se encuentra presente a lo largo de la Sierra, lo que podría indicar que un gran número de accesiones se han adaptado a agroecosistemas no usuales para el cultivo de melloco y que se están integrando a otros sistemas de producción e inclusive a la dieta nutricional de un mayor número de agricultores.

En la actualidad, la caracterización eco-geográfica se está utilizando en América Latina y específicamente en Ecuador con la finalidad de identificar posible germoplasma con tolerancia a factores abióticos., por ejemplo, en investigaciones realizadas por Meza (2014) que utilizó 12 variables eco-geográficas, en un estudio de biodiversidad de frijol en Honduras, por Tapia (2015) sobre identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la Sierra ecuatoriana, y por Vásquez, (2015) en la identificación de germoplasma tolerante a estrés abiótico en *Arachis hypogaea* en Ecuador.

La variabilidad eco-geográfica de los sitios muestreados, permitió conocer en que escenarios se está cultivando la diversidad genética del melloco en la Sierra ecuatoriana. La temperatura es una variable climática que influye en el desarrollo de los TAs, así Condori (2008), indica que los parámetros óptimos desde la emergencia hasta la cosecha son de 11 °C a 11,5 °C. Esto concuerda con la temperatura promedio anual de este estudio, sin embargo, se observó accesiones del morfotipo cinco que estaban creciendo en temperaturas menores a 0 °C, (temperaturas mínimas de diciembre), germoplasma de posible interés para programas de fitomejoramiento dirigido a tolerancia a condiciones de frío.

Russián, Agosta y Compagnucci (2015), indican que el calentamiento global está afectando los procesos dinámicos y termodinámicos del clima influyendo en las precipitaciones, proceso que también se observa en las variaciones de la precipitación en los sitios donde se cultiva melloco. Más aun considerando que no existe mucha información para este cultivo, como lo reportado por Springer Netherlands (2015) que indica probables rangos entre 800 a 1 400 mm por año. Caicedo et al., (1995), Espinoza (2015), FAO (2015) y Perú Ecológico (2017), reportan precipitaciones para mashua y oca entre 600 a 1 400 mm. Por lo tanto, esta investigación ha permitido definir rangos para melloco que van entre 470 a 967 mm, información valiosa para la planificación del cultivo en la Sierra ecuatoriana.

En esta investigación se identificaron parámetros similares para la variable altitud a los reportados para el cultivo de la papa, con rangos que van de 2 500 a 4 200 m (Trognitz, Hermann y Carrión, 1998; Parra-Quijano et al., 2012). Particularmente, el morfotipo dos presentó accesiones que se desarrollan en

altitudes menores a 1 600 m, lo que indica la adaptación de este cultivo a nuevos agroecosistemas.

Para las variables edáficas, la mayoría de la variabilidad de melloco está creciendo en su mayoría en condiciones acordes a los TAs como la papa, oca y mashua (Suquilanda, 1990). En lo que concierne al contenido de carbón orgánico, este estudio detectó que gran parte de la variabilidad de melloco está creciendo en suelos con bajo contenido de carbón orgánico. En la Sierra ecuatoriana, suelos con bajo contenido de carbón orgánico son usuales debido a la excesiva intensidad de labranza del suelo y que, provoca la baja productividad y erosión del suelo (Martínez, Fuentes y Acevedo, 2008)., También, Balesdent, Mariotti & Boisgontier (1990); Olson, Lang y Ebelhar (2005) y Six y otros (2004) reportan que los suelos con baja fertilidad están relacionados con la perturbación por labranza, lo que causa cambios en el contenido de carbón orgánico que afectan las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, las que a su vez determinan su capacidad productiva (Balesdent, Mariotti y Boisgontier, 1990; Sánchez y otros 2004; Schlesinger, 2000).

En lo referente al pH del suelo, el 40 % de accesiones están desarrollándose en suelos con pH ácidos, que causa un débil desarrollo del sistema radicular, reduciendo la absorción de agua, nutrientes y por ende el crecimiento de la planta. Sin embargo, el cultivo se desarrolló adecuadamente, lo que indica que probablemente durante el tiempo se ha generado tolerancia a suelos con pH ácido, Esta hipótesis deberá corroborarse mediante evaluaciones en este tipo de suelos con los materiales que se han adaptado.

Conclusiones

La caracterización eco-geográfica, permitió visualizar las condiciones favorables de adaptación para el cultivo de melloco en la región andina del Ecuador, propicias para generar estrategias de conservación *in situ*.

Se identificó los rangos de temperaturas promedio anual, para melloco de (7.2 °C a 13.4 °C) y precipitación anual de (967 mm) como variables de mayor discriminación.

La caracterización eco-geográfica en melloco, permitió identificar germoplasma con posible tolerancia a condiciones de estrés abiótico siendo el ECU-875 perteneciente al morfotipo dos, ECU-792 agrupado en el morfotipo uno y el ECU-8501 que corresponde al morfotipo cinco.

Referencias bibliográficas

- Balesdent, J., Mariotti, A., y Boisgontier, D. (1990). Effects on tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. *J. Soil Sci*, 41(4), 584-596.
- Barrera, V., Tapia, C., Monteros, A., y (eds). (2004). *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie:*

Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos. Quito, Ecuador.

Basantes, E. (2015). Manejo de cultivos andinos del Ecuador. Quito, Ecuador.

Bonnaeve, M., Bleeckx, T., Terrazas, F., y Bertin, P. (2016). Effect of the management of seed flows and mode of propagation on the genetic diversity in an Andean farming system: the case of oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). *Agric Hum Values*, 33 (3), 673-678. doi: 10.1007/s10460-15-9646-3

Caicedo, C., Nieto, C., Monteros, C., Yáñez, C., Rivera, M., Vimos, C., y Haro, M. (1994). *INIAP-PUCA MELLOCO E INIAP-QUILLO MELLOCO, Primeras variedades de melloco (Ullucus tuberosus Loz) para Ecuador*. Quito-Ecuador.

Condori, B., Mamani, P., Botello, R., Patiño, F., Devaux, A., y Ledent, J. (2008). Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papalisa (*Ullucus tuberosus*). *European Journal of Agronomy*, 28(4), 526-540.

Espinoza, E. (2015 13 de septiembre). *Blog de Agricultura Andina Inka*. Obtenido de Cultivo de mashua: Como alternativa en la Biotecnología Moderna Industrial la Mashua Negra. Recuperado de <http://edgarespinozamontesinos.blogspot.com/2015/09/cultivo-de-mashua-como-alternativa-en.html>

FAO. (2016 29 de diciembre). Obtenido de Agronomía de los cultivos andinos. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s04.pdf>

Ketchen, D., y Shook, C. (1996). The application of cluster analysis in Strategic Management Research: An analysis and critique. *Strategic Management Journal*, 17(6), 441-458.

Martínez, E., Fuentes, J., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 8 (1) 2008 (68-96), 8 (1), 68-96.

Meza, N. (2014). *Biodiversidad de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en Hoduras. Agromorfológica, Molecular y Ecogeográfica*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Nieto, G. (2004). *Cuantificación de la erosión genética de Melloco (Ullucus tuberosus Caldas.), Oca (Oxalis tuberosa Molina.), Mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón.) en localidades de las provincias de Chimborazo y Tungurahua*. (Tesis de pregrado). Universidad Central. Quito, Ecuador.

Olson, K., Lang, J., y Ebelhar, S. (2005). Soil organic carbon changes after 12 years of no-tillage and tillage of Grantsburg soils in southern Illinois. *Soil Till. Res*, 81(2), 217-225.

Parra-Quijano, M., Draper, D., Torres, E., y Iriondo, J. (2008). Ecogeographical representativeness in crop wild relative ex situ collections. *Crop wild relative conservation and use* (ed. by N. Maxted et al.), pp. 249-273.

Parra-Quijano, M., Panda, S., Rodríguez, N., y Torres, E. (2012). Diversity of *Ullucus tuberosus* (Basellaceae) in the Colombian Andes and notes on ulluco domestication based on morphological and molecular data. *Genet Resour Crop Evol*, 59(1), 49-66.

Parra-Quijano, M., Torres, E., Irriondo, J., y López, F. (2015). Manual de usuario herramientas CAPFITOGEN. Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. FAO. Roma, Italia.

Perú Ecológico. (2017 02 de Enero). Obtenido de Perú Ecológico. Recuperado de http://www.peruecologico.com.pe/flo_oca_1.htm

Russián, G., Agosta, E., y Compagnucci, R. (2015). Variaciones en bajas frecuencias de la precipitación estacional en la región Pampa Amarilla y posibles forzantes. *Meteorológica*, 17-42.

Sánchez, J., Harwood, R., Willson, T., Kizilkaya, K., Smeenk, J., Parker, E., . . . Robertson, G. (2004). Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agron. J.*, 96(3), 769-775.

Schlesinger, W. (2000). Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. . *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82(1-3), 121-127.

Six, J., Ogle, S., Breidt, F., Conant, R., Mosiers, A., y Paustian, K. (2004). The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change Biology*, 10(2), 155-160.

Springer Netherlands. (2015). *Ullucus tuberosus*. *Springer Science+Business Media Dordrecht*, 741-745.

Suquilanda, M. (1990). *Producción orgánica de cultivos andinos. Manual técnico*, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Quito, Ecuador.

Surco, F. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos:mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), olluco (*Ullucus tuberosus*) para su aplicación tecnológica*. (Tesis de maestría). Ciencias de los Alimentos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Tapia, C. (2015). *Identificación de áreas prioritarias para la conservación de razas de maíz en la sierra de Ecuador*. (Tesis doctoral). C. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

Tapia, C., Torres, E., y Parra-Quijano, M. (2015). Searching for Adaptation to Abiotic Stress: Ecogeographical Analysis of Highland Ecuadorian Maize. *Crop Sci*, 55(1), 262-274.

Trognitz, B., Hermann, M., y Carrión, S. (1998). Germplasm conservation of oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) through botanical seed. Seed formation under a system of polymorphic incompatibility. *Euphytica*, 101(2), 133.

Vásquez, L. (2015). *Identificación de Germoplasma Tolerante a Estrés Abiótico en la colección nacional ecuatoriana de *Arachis hypogaea**. (Tesis de maestría). En

Biodiversidad y Conservación del Medio Natural. Univesidad de Santiago de Compostela. España.

WorldClimate. (2016 16 de mayo). WorldClimate. Recuperado de <http://www.worldclimate.com>

Zebrowski, C., y Sourdat, M. (1997). Los factores de la pedogénesis y los suelos en ecuador. In: A. Winckell, (Ed.), *Los paisajes naturales del Ecuador*. Centro Ecuatoriano de investigación Geográfica. Quito, Ecuador.