



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Viceministerio de Desarrollo
Estratégico de los Recursos
Naturales

Dirección General de Diversidad
Biológica

INFORME FINAL

DOCUMENTACIÓN DE LOS DATOS DE PASAPORTE DE UNA COLECCIÓN DE TOMATE (Sección *Lycopersicon*, *Solanum* spp.)

Junio, 2016

INDICE

I.	RESUMEN EJECUTIVO	3
II.	INTRODUCCIÓN	4
III.	ANTECEDENTES	6
IV.	OBJETIVOS	9
	IV.I.- Objetivo general	
	IV.II.- Objetivos específicos	
V.	ENFOQUE Y ALCANCES	10
VI.	ACTIVIDADES Y/O METODOLOGÍA	11
	VI.I.- Actividades	
	VI.II.- Metodología	
VII.	RESULTADOS FINALES OBTENIDOS	13
VIII.	CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES	15
IX.	GLOSARIO	17
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
XI.	ANEXOS	21

I. RESUMEN EJECUTIVO

El Instituto de Innovación Agraria (INIA) maneja y conserva ex situ en la EEA Donoso Huaral una colección de tomate integrado por 163 accesiones que corresponderían a seis especies silvestres de tomate. Mediante el proyecto “Desarrollo y valoración de recursos genéticos de *Lycopersicon spp.* para su utilización en mejoramiento genético de Solanáceas frente a estrés biótico y abiótico.” Financiado por Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (Fontagro), se hizo la colecta nacional de tomate en 8 regiones del Perú; a cargo de la Ing. Llerme Ríos Lobo, llegando a coleccionar 163 accesiones de tomate. Se hace necesario documentar debidamente estas 163 colecciones de tomates cultivados y silvestres que existen en nuestro país, por lo que se ha programado realizar la documentación de los datos de pasaporte de recolecciones de tomate (*Solanum spp.*), en este caso del banco de germoplasma del INIA, lo que nos permitirá elucidar las brechas de las especies que faltaría recolectar así como los posibles lugares de mayor concentración de diversidad y futuras exploraciones en lugares no colectados.

El documentación de los datos de pasaporte de la colección de germoplasma de tomate (Sección *Lycopersicum, solanum spp.*), es el esfuerzo conjunto del INIA y Ministerio del Ambiente (MINAN), área de Recursos Genéticos y Bioseguridad (DGDB) para la elaboración de la línea de base del tomate. Esta documentación contiene la lista de descriptores pasaporte para cultivos múltiples (DPCM) que fue elaborado por FAO y el IPGRI para suministrar, a nivel internacional, normas fijas que faciliten el intercambio de información de pasaporte del germoplasma. Es esencial documentar de forma apropiada registros de buena calidad, en fichas de colecta, fotos, mapas de campo, tanto en papel como en formato digital. La sistematización de la información de datos pasaporte de la colección de tomate se hizo la verificación de los distintos descriptores pasaporte para cultivos múltiples. Mediante el software Arc-GIS analizamos los datos de georreferenciación: latitud y longitud de las accesiones de tomate, para identificar y verificar las áreas de colecta, así como también hacer mapas de distribución, mapas de la diversidad genética de este cultivo. Este documento estará a disposición de los investigadores agrarios, fitomejoradores, tesisistas, agricultores, agroindustriales, personas interesadas, público en general en general; con la finalidad de promover su uso. Además, esperamos que esta documentación de tomate pueda estimular más estudios sobre la rica diversidad de ajíes peruanos.

II. INTRODUCCIÓN

El Perú es el centro de origen y de diversidad genética de la mayoría de las especies silvestres de tomate.

El tomate es la hortaliza más cultivada en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. La producción de tomates representa cerca del 33% de la producción hortícola mundial. En años recientes, la demanda de tomate está creciendo aceleradamente no solamente en los países desarrollados sino también en los países emergentes y en vías de desarrollo, porque los valores nutritivos del tomate (vitaminas A, C, E, antioxidantes, hierro, calcio, fósforo, minerales, licopeno, entre otros) están llamando la atención del mundo. (USDA, 2009).

Su producción anual va en aumento, siendo en el 2011 mayor a las 159 millones de toneladas. China es el mayor productor seguido por India y Estados Unidos. España ocupa el décimo puesto mundial con una producción en el 2011 de 3.8 millones de toneladas. En cuanto al volumen de las exportaciones, España se ubica en el tercer lugar a nivel mundial, exportando tanto tomate fresco como en conserva (FAOSTAT:<http://faostat.fao.org/site/>). Otros países son Brasil, República Islámica del Irán, México, Grecia, Federación de Rusia, Ucrania, Chile y Uzbekistán (Peralta, *et al.* 2008).

El tomate es diploide en su constitución genética, con un número básico de 12 cromosomas, un genoma de tamaño pequeño y un corto ciclo de cultivo que, sumados a la disponibilidad de herramientas genómicas y genéticas, lo convierten en uno de los modelos genéticos más efectivos para el mejoramiento de los cultivos (Tanksley y McCouch, 1997).

De acuerdo al sistema de clasificación actualizado y más aceptado por los científicos a nivel mundial, las especies relacionadas con el tomate taxonómica y genéticamente, confirmadas por datos morfológicos y moleculares, se agrupan dentro del género *Solanum* en tres secciones: *Lycopersicon*, *Juglandifolia* y *Lycopersicoides*. La sección *Lycopersicon* está integrada por 13 especies que a su vez están clasificadas en 4 grupos (*Lycopersicon*, *Neolycopersicon*, *Erioperiscon* y *Arcanum*), 3 especies son endémicas del Perú: *Solanum arcanum*, *S. huyalasense* y *S. corneliomulleri*. Otras tres especies que se encuentran también distribuidas en el país y que están fuera de la sección *Lycopersicon* son: *S. lycopersicoides* (sección *Lycopersicoides*), *S. ochranthum* y *S. juglandifolium* (sección *Juglandifolia*), con lo cual sumarían 17 especies presentes en el Perú incluyendo el tomate cultivado (*S. lycopersicon*). (Peralta *et al.*, 2008).

En los últimos años se realiza esfuerzos importantes en el registro y almacenamiento de los datos de pasaporte y la caracterización de estas accesiones en plantas. La sistematización de datos de pasaporte ha permitido dar consistencia a la referenciación geográfica de las accesiones conservadas, lo cual ha permitido elaborar mapas de distribución geográficos de las colectas para las diferentes especies y conocer el nivel de calidad de los datos de pasaporte de cada cultivo.

Una herramienta para la georreferenciación son los Sistemas de información geográfica (GIS). El ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al

servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio.

Esta documentación contiene la lista de descriptores pasaporte para cultivos múltiples (DPCM) que fue elaborado por FAO y el IPGRI para suministrar, a nivel internacional, normas fijas que faciliten el intercambio de información de pasaporte del germoplasma. Estos descriptores pretenden ser compatibles con las listas de descriptores de especies cultivadas desarrolladas por el IPGRI y con los descriptores utilizados por el Sistema de Información y Alerta Mundial -SIAM- (WIEWS, en inglés) de la FAO para los recursos filogenéticos (RFG).

En los últimos años se ha logrado concientizar sobre el valor de los recursos genéticos, no sólo desde el punto de vista agrícola y alimentario, sino también como definidores de identidad cultural. Muchos países, entre ellos el Perú, se han empeñado en coleccionar y mantener recursos genéticos propios tal es caso de INIA. Un nuevo y controversial desarrollo que probablemente afecta el manejo del germoplasma es el de los organismos modificados genéticamente (OMG ahora OVM-organismo vivo modificado). En la actualidad, se espera que los bancos de germoplasma tomen iniciativas para evitar la introgresión involuntaria de genes exóticos, incluyendo los transgenes, que aún no se encuentran presentes en las muestras conservadas en los bancos.

En este estudio se presenta la documentación de los datos de pasaporte del germoplasma de tomate (Sección *Lycopersicum, solanum spp.*) del banco de germoplasma del INIA, el mismo que se pone a disposición de los investigadores agrarios, fitomejoradores, tesisistas, agricultores, agroindustriales y comunidad en general, con la finalidad de promover su uso.

III. ANTECEDENTES

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta dicotiledónea de porte arbustivo, aunque puede desarrollarse en forma rastrera, semirrecta o erecta, que pertenece a la familia de las Solanáceas (*Solanaceae*), clasificado como *Lycopersicum esculentum* (Miller, 1754), y luego fue renombrado como *Solanum lycopersicum* (Child, 1990; Peralta y Spooner, 2006). Se encuentra dentro del género *Solanum*, la misma que cuenta aproximadamente con 1500 especies a nivel mundial. Representa uno de los géneros más extendidos de las angiospermas y es el género más extenso en las Solanaceae (Vallejo, 1999).

El tomate se cultiva en todo el mundo por su fruto comestible, tiene tonos que van del amarillento al rojo. Posee un sabor ligeramente ácido, mide de 1 a 2 cm de diámetro en las especies silvestres y es mucho más grande en las variedades cultivadas. Se produce y consume en todo el mundo, tanto fresco como procesado (Vallejo, 1999). Conocido también como jitomate en el sur y centro de México. Todas las especies relacionadas con él son diploides ($2n = 24$), aunque puede existir alguna forma tetraploide (Rick *et al.*, 1979) y su sistema reproductivo varía desde la alogamia autoincompatible a alógamas facultativas o autógamias (Rick 1963). La mayoría de las especies de tomate silvestre se pueden cruzar con el tomate cultivado y son de gran importancia en los programas de mejora como fuentes de resistencia frente a enfermedades o plagas o caracteres agronómicos de interés (Stevens & Rick 1986).

La sección Lycopersicon del género *Solanum* constituye un clado monofilético que agrupa al tomate, *Solanum lycopersicum*, y a las especies espontáneas estrechamente relacionados con él, las cuales se conocen comúnmente como tomates silvestres. El clado está constituido por trece especies herbáceas exclusivamente sudamericanas, que habitan desde Ecuador hasta Chile. Todas estas especies constituyen un recurso genético extremadamente importante para el mejoramiento genético del tomate ya que poseen una gran cantidad de genes para resistencia a factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (estrés hídrico y salino, por ejemplo) adversos, como así también caracteres de calidad para el fruto

En la actualidad se consideran 13 especies de tomate silvestre incluyendo al tomate cultivado (*S. lycopersicum*) y a sus especies silvestres (Peralta *et al.* 2008, p. 13). Divide la sección en cuatro grupos: el grupo Lycopersicon (*S. lycopersicum*, *S. pimpinellifolium*, *S. chesmaniae* y *S. galapagense*), el grupo Neolycopersicon (*S. pennellii*), el grupo Eriopersicon (*S. peruvianum*, *S. corneliomuelleri*, *S. huaylasense*, *S. habrochaites* y *S. chilense*) y el grupo Arcanum (*S. arcanum*, *S. chmielewskii* y *S. neorickii*).

El centro de origen del tomate cultivado (género *Solanum*) es la región andina de Sudamérica que hoy comparten Perú, Colombia, Ecuador, Bolivia y Chile (Nuez, 1995) y dos especies endémicas en las islas galápagos *S. chesmaniae* and *S. galapagense* (Darwin, 2003; Peralta y Spooner, 2005). Su antepasado más cercano es la variante Cerasiforme del *Solanum lycopersicum*, que crecen espontáneamente en regiones tropicales y subtropicales de América. Los tomates silvestres crecen en una gran variedad de hábitats, desde casi el nivel del mar hasta los 3300 metros de altitud (Rick 1973, Taylor 1986), aunque se han encontrado ejemplares sobre los 3900 metros. Estos hábitats incluyen desde la árida costa Pacífica hasta las montañas místicas de los andes. Las poblaciones silvestres de tomate crecen a diferentes alturas en estos angostos valles, están aisladas geográficamente y están adaptadas a determinados microclimas y condiciones del suelo. Esta diversidad geográfica, de hábitats y de climas ha contribuido a la diversidad de las especies silvestres de tomate (Warnock 1988).

El tomate, probablemente fue llevado desde la región andina hacia Centroamérica y México donde se domesticó y ha sido por siglos parte básica de la dieta. Luego, fue llevado por los conquistadores a Europa. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos y para entonces ya habían sido traídos a España y servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá. (Kalloo 1991). Las primeras variedades debieron ser de color amarillo ya que en Europa se le denominaba *pomodoro* o *pomme d'or* y todavía se le denomina así en Italia. Su aceptación fue lenta, ya que el tomate pertenece a la familia de la belladona y se pensaba que podía ser venenoso. (Rick 1978).

Existen dos hipótesis en competencia para determinar el centro de domesticación del tomate cultivado, uno de ellos surgió en el Perú, y la otra en México. La hipótesis de Candolle sobre el origen del tomate en Perú (Candolle 1882), fue apoyada por otros autores por la presencia de plantas de tomates del grupo cerasiforme, la cual es su forma ancestral (Müller 1940a; Müller 1940b; Luckwill 1943). Recientes investigaciones genéticas, han demostrado que las plantas conocidas como "cerasiformes" halladas en el Perú, son una mezcla de tomates silvestres y cultivadas y no un "ancestral" directo de los cultivares (Nesbitt y Tanksley 2002). La segunda hipótesis apoya que la domesticación sucedió en México (Jenkins, 1948), ya que no se mostraban pruebas de la domesticación precolombiana de tomates en América del Sur, sin embargo, era considerado una buena evidencia de domesticación temprana y un centro secundario de diversidad en México (Sahagún, 1988; Peralta, 2008).

El tomate se ha empleado como organismo modelo en estudios genéticos y de desarrollo (Tanksley y McCouch, 1997). Es una hortaliza ideal para investigaciones fisiológicas, celulares, bioquímicas y de genética molecular. Es de fácil cultivo, tiene un ciclo de vida corto y es fácilmente manejable en horticultura. Se puede, además, cultivar *in vitro* y regenerar, haciendo posible su transformación genética (Gisbert *et al.* 2000). Las especies silvestres son la fuente de genes de resistencia a múltiples enfermedades, tolerancia a sequía, salinidad, altas y bajas temperaturas, etc. que hace imprescindible que estos recursos genéticos sean adecuadamente protegidos.

De las distintas herramientas biotecnológicas que pueden servir de apoyo a la mejora genética caben destacar los marcadores moleculares y distintas técnicas relacionadas con el cultivo *in vitro* de plantas como son la obtención de haploides, la transformación genética, el rescate de embriones y la hibridación somática.

Los marcadores moleculares han supuesto toda una revolución en la mejora genética y otros campos de investigación. En mejora vegetal pueden utilizarse con fines diversos como pueden ser la estimación de distancias genéticas entre genotipos y la selección de aquellos más útiles para generar híbridos; la distinción de variedades; el establecimiento de relaciones de parentesco y la selección asistida de genes o QTLs (Quantitative Trait Loci) asociados a caracteres de interés. En tomate, se dispone de marcadores de distinto tipo como son los RFLPs, AFLPs, RAPDs, CAPS, SSR y los desarrollados más recientemente SNP y COS (Nuez y Carrillo, 2000; Foolad y Sharma, 2005).

Las técnicas biotecnológicas anteriormente mencionadas y relacionadas con el cultivo *in vitro* de plantas son herramientas muy útiles para la mejora vegetal. La obtención de plantas haploides nos permite obtener líneas puras (por duplicación cromosómica) de una manera directa disminuyendo el tiempo requerido para ello por la vía tradicional. Es útil para el estudio de mutaciones y para generar poblaciones para el mapeo de genes. Por otra parte, la transformación genética permite la introducción de genes de

cualquier fondo genético sin arrastrar el fondo genético del parental del que proceden. Finalmente, el rescate de embriones y la hibridación somática nos permiten superar ciertas barreras de incompatibilidad pudiendo aprovechar la variabilidad interespecífica que no es aprovechable por cruzamiento sexual. La aplicación de estas tecnologías depende de varios factores según el caso, pero en todas ellas existe un punto común que es la necesidad de regenerar plantas a partir de los explantes de partida (Trujillo, 2009).

Aun cuando diferentes instituciones del país han dedicado esfuerzos a la conservación y explotación de los recursos fitogenéticos del tomate en función de la mejora genética, existe amplia variabilidad de estos recursos mantenidos *ex situ*, de los cuales solo se conocen sus datos pasaporte, fundamentalmente del germoplasma autóctono y silvestre, y ello se debe, entre otras causas, a que no se cuenta con una amplia información de sus cualidades y comportamiento ante los diferentes estrés bióticos y abióticos, que están presentes en las condiciones medioambientales de explotación de esta especie en nuestro país. El conocimiento acerca de la diversidad genética existente puede ser muy útil para diferentes programas de mejoramiento genético. En este sentido, las técnicas moleculares son de gran ayuda para la caracterización y evaluación de la diversidad genética en diversas especies. (Florido et. al. 2007).

El programa Arc GIS, se usa para mapear y analizar datos de distribución biológica, dentro de una región país a nivel mundial. Los datos de distribución se refieren a localizaciones donde se han observado, o quizás colectado, especies diferentes. Este programa es usado, para identificar áreas de elevada diversidad; para predecir la posibilidad de encontrar una especie en áreas que aún no han sido exploradas; para estudiar la distribución de ciertos rasgos de interés; y para seleccionar y diseñar sitios con el objeto de realizar conservación *in situ*. Así como también puede ser particularmente útil para el análisis espacial de datos de distribución biológica, como los provistos por colecciones de historia natural o de recursos genéticos. Arc GIS importa bases de datos de colecciones biológicas utilizando los campos de latitud y longitud. Si se desconocen tanto la latitud como la longitud, pero se dispone información administrativa de la localidad (tales como el nombre del departamento, provincia o lugar), puede ser de ayuda en al asignar las coordenadas más probables. Arc GIS también tiene la capacidad de comprobar automáticamente la exactitud de los datos de coordenadas. Los datos de coordenadas son algunas veces son inexactos. Esto complica su análisis, y volvería inciertos a sus resultados. Sin embargo, hay mucho que se puede llevar a cabo para mejorar la calidad de los datos, y este programa incluye herramientas que pueden facilitar esta tarea.

Gracias a estos proyectos colaborativos de conservación que han financiado colectas nacionales para incrementar el banco de germoplasma de *Lycopersicum, solanum spp.*), a lo largo de estos años. Mediante el proyecto “Desarrollo y valoración de recursos genéticos de *Lycopersicon spp.* para su utilización en mejoramiento genético de Solanáceas frente a estrés biótico y abiótico.” Financiado por Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (Fontagro). Se hizo la colecta nacional de tomate silvestre en 8 regiones del Perú que son: Ruta: Huaral- Barranca- Huaura, Ruta: Lambayeque-Chiclayo-Ferreñafe, Ruta: Cajamarca-Bambamarca-Cutervo-Jaén, Ruta: Cusco-Urubamba-La Convención-Calca-Quispicanchi, Ruta: Ayacucho, Ruta: Huánuco, Tingo María, Puerto Inca, Ruta: Ucayali: Coronel Portillo, Aguaytía y Ruta 7: Huancavelica), a cargo de la Ing. Llerme Ríos Lobo. Faltando por completar las rutas: Ruta: Junín – Apurímac, Ruta, Puno –Arequipa, Ruta: Piura –Tumbes, Ruta: San Martín, Ruta: Iquitos Loreto y Ruta: Amazonas.

IV. OBJETIVOS

IV.I.- Objetivo general

- Documentar los datos de pasaporte del germoplasma de tomate (Sección *Lycopersicum, solanum spp.*) del banco de germoplasma del INIA.

IV.II.- Objetivos específicos

- Elaborar un plan de trabajo para la documentación de los datos de pasaporte de la colección de germoplasma de tomate (Sección *Lycopersicum, solanum spp.*).
- Revisar los descriptores de pasaporte de tomate (Sección *Lycopersicum, solanum spp.*) utilizados por el banco de germoplasma del INIA y compararlo con los descriptores de tomate (*Solanum spp.*) publicado por Bioversity International (antes IBPGR o IPGRI), para definir coincidencias y divergencias y la forma de estandarizar la información de pasaporte conforme al formato internacional.
- Elaborar información en forma de meta data que defina y explicita los contenidos (datos) de la lista de pasaporte de tomate (*Solanum spp.*) en cuanto a su contenido, estructura y forma de uso.
- Actualizar la base de datos de *Lycopersicum, solanum spp.* del Instituto nacional de Innovación Agraria INIA.

V. ENFOQUES Y ALCANCES

La documentación de los datos de pasaporte del de germoplasma de tomate (Sección *Lycopersicum, solanum spp.*) del Perú está enfocando y a disposición de los investigadores agrarios, fitomejoradores, tesisistas, agricultores, agroindustriales y comunidad en general, con la finalidad de promover su uso. Además, en el corto plazo será posible acceder a estos datos y a los de caracterización de manera mecanizada a través de la página WEB del INIA mediante un sistema de información diseñado para la gestión de los recursos fitogenéticos y en el mediano plazo se incorporarán los módulos de conservación y distribución. Esperamos que esta documentación esté al alcance de personas interesadas, quienes podrán solicitar semillas de materiales de su interés al banco de germoplasma del INIA. Además, esperamos que esta documentación completa del germoplasma de tomate pueda estimular más estudios sobre la rica diversidad de tomates peruanos

La Ley N° 29811, Ley que establece la Moratoria al Ingreso y Producción de Organismos Vivos Modificados (OVM) al Territorio Nacional por un periodo de diez (10) años, tiene por finalidad fortalecer las capacidades nacionales, desarrollar la infraestructura y generar las líneas de base respecto de la biodiversidad nativa, que permita una adecuada evaluación de las actividades de liberación al ambiente de OVM. <http://busquedas.elperuano.com.pe/normaslegales/designan-laboratorios-para-la-realizacion-de-analisis-de-la-resolucion-ministerial-no-355-2015-minam-1326613-3/#sthash.8UQtWjrS.dpuf>

Con la finalidad de conocer los Centros de Origen y Diversificación de Especies, a que hace referencia el artículo 7° de la Ley N° 29811, el MINAM procederá a la elaboración de listas y mapas de distribución de aquellas especies que revistan importancia para la bioseguridad, así como a la elaboración de las políticas concertadas para su conservación.

VI. ACTIVIDADES Y/O METODOLOGÍA

VI.I ACTIVIDADES

La realización del presente servicio tiene una duración de cuarenta y cinco (45) días calendario, contados a partir de del día siguiente de notificado la orden de servicio. Las actividades a realizar que se constituyen en las líneas de acción son las siguientes:

VI.I.1 Elaboración del Plan de Trabajo, organizado por tareas. El proveedor de servicio a los diez (10) días calendarios de notificado la orden de servicio se reunirá con los especialistas del MINAN para exponer el plan de trabajo debidamente calendarizado y organizado por tareas. En esta reunión se levantará un acta de aprobación de dicho plan de trabajo.

VI.I.2 Recopilación de datos en INIA (revisión del back up Ing. Llerme Ríos). El proveedor de servicio solicitará información del back up Ing. Llerme Ríos, al INIA, ya que ella realizó las colectas de *Lycopersicon*, *Solanum spp.*

VI.I.3 Viaje a INIA Huaral Recolección de datos pasaporte de tomate (*Lycopersicon*, *Solanum spp.*). El proveedor hará una visita de trabajo a la EEA Donoso previa coordinación con él y/o los encargados de las fichas de colecta de *Lycopersicon*, *Solanum spp.*, con la finalidad de digitalizar y/o fotografiar estas fichas.

VI.I.4 Elaboración del inventario del germoplasma de tomate de la EEA Donoso. Luego de la información proporcionada de las fichas de colecta se hará un inventario general para saber el número de accesiones de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* que tienen sus fichas respectivas.

VI.I.5 Reunión de coordinación. Luego de las vistas a la EEA Donoso se hará una reunión de coordinación con MINAM para dar un alcance sobre el estado situacional de la colección de *Lycopersicon*, *Solanum spp.*

VI.I.6 Sistematización de la información de pasaporte de la colección de Tomate en base de datos a partir de las fichas de colecta. Se recopilara y acopiara la información de pasaporte de la colección de germoplasma de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* en tablas, previas al desarrollo de base de datos, tablas auxiliares de información de campo, será ordenada y sistematizada en carpetas e incluida en formato digital editable y verificable (CD o DVD) en formatos Excel, Word y PDF.

VI.I.7 Asignación de las coordenadas geográficas de los sitios de colecta. La asignación de las coordenadas geográficas de los sitios colectados de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* en los cuales no haya sido registrado la longitud y latitud usando la información de la ficha de colecta. Para la cual se usará el software Arc GIS que muy útil para la asignación de coordenadas y la ubicación de los puntos de colecta.

VI.I.8 Base de datos de pasaporte de la colección de tomate (*Solanum spp.*) del banco de germoplasma del INIA. El proveedor entregara la base de datos pasaporte de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* en versión digital en CD y/o DVD, conteniendo todos los archivos digitales en formato de hoja de cálculo y procesador de texto.

VI.I.9 Entrega del primer y único informe. Elaboración del primer informe entregable del Servicio a 45 días calendario de la notificación de la orden de servicio, donde debe contener:

- Plan de trabajo concordado y calendarizado por fechas y tareas. (Anexo 1)

- La documentación de los datos pasaporte de una colección de tomate (Sección *Lycopersicon, Solanum spp.*) en formato Excel. (Anexo DVD).
- Listado de documentos (fichas), archivos y bases de datos de las colección de tomate (Sección *Lycopersicon, Solanum spp.*) (Anexo DVD).
- Archivo fotográfico de las accesiones de la colección de tomate (Sección *Lycopersicon, Solanum spp.*). (Anexo DVD)
- Mapas del Perú y departamentos de la diversidad genética y de colecta del tomate (Sección *Lycopersicon, Solanum spp.*), en formato: Word (Anexo 3) y shape (*.shp). (Anexo DVD).

VI.II METODOLOGIA

La metodología empleada fue de gabinete donde se comparó, verifico y sistematizo la información de pasaporte que se encuentra en la base de datos del INIA. Estos datos del contenido de pasaporte de tomate fueron diseñados en una tabla en Excel, según Lista de descriptores de pasaporte para cultivos múltiples desarrollada por la FAO y el IPGRI en diciembre (DPCM)

La metodología para verificación de la longitud y latitud de las fichas de colecta, fueron hechas manualmente donde se corrigió algunos puntos que no coincidían, lo cual tomo mucho tiempo. Ya que en la colecta emplearon un sistema sexagesimal (un sistema de cálculo con 60 como número base) de 'minutos' y 'segundos'. En lugar de esto, lo que se usa ahora es un sistema decimal en computación geográfica. El sistema decimal tiene sólo un número y no tiene letras, con el signo indicando. Para convertir desde longitud y latitud a grados, minutos, segundos y hemisferio, a grados decimales, se usa la siguiente fórmula:

$$CD = h^{\circ} [d+ m/60 +s/3600]$$

Dónde: d son los grados (°), m los minutos ('), s los segundos; h = 1 para el hemisferio Norte y Este, y -1 para hemisferio Sur y Oeste.

Los datos de pasaporte de tomate (*Lycopersicon, Solanum spp.*) del banco de germoplasma del INIA están consignados en el formato Excel.

Luego de comparar y que todo este correcto se procedió hacer los mapas de distribución geográfica usando el Software ARG GIS, donde se comprobó automáticamente la exactitud de los datos de coordenadas. Entonces se elaboró los mapas de distribución geográfica de tomate (Sección *Lycopersicon, Solanum spp.*). ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. En el ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Este software es utilizado para ubicar los puntos en donde se colectaron las muestras de tomate y se analizó también los datos de distribución geográfica con puntos para producir mapas.

VII. RESULTADOS

- Tabla en Excel, de los datos de pasaporte del germoplasma de tomate (*Lycopersicon*, *Solanum spp.*) del banco de germoplasma del INIA. (Anexo DVD).
- Según las base de datos del INIA la sección *Lycopersicon*, *Solanum spp.* cuenta con 7 especies: *S. lycopersicum* (113 accesiones), *S. pimpinellifolium* (31 accesiones), *S. cheesmaiae* (3 accesiones), *S. corneliomuelleri* (7 accesiones), *S. peruvianum* (1 accesión), *S. habrochaites* (7 accesiones), *S. neorickii* (1 accesión). (Gráfico 1)
- Se ha encontrado 3 accesiones de la especie: *S. cheesmanie*, un tomate silvestre endémico de las islas Galápagos.
- La base de datos de la oficina de documentación del INIA, consta de 163 accesiones de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* distribuidos en ocho departamentos: Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Lambayeque, Lima, y Ucayali. (Mapa Anexo) El material genético de Tomate colectado, es la muestra representativa de la variabilidad de las localidades de los Departamentos de Lima (Provincias de Barranca, Huaral y Huaura); Lambayeque (Chiclayo-Ferreñafe); Cajamarca (Bambamarca-Cutervo-Jaen); Cusco (Urubamba-La Convención-Calca-Quispicanchi); Ayacucho; Huánuco, Huancavelica y Ucayali. (Gráfico 2).
- Las fichas de colecta están completas (163 accesiones), pero la mayoría de estas presenta errores en la longitud y latitud, porque en muchos casos los minutos y segundos tienen valores mayores a 60 y de esta manera altera la ubicación exacta. (Anexo DVD).
- Mapas por región de la diversidad genética del tomate sección *Lycopersicon* en formato: Word (Anexo 1), PDF y shape (*.shp) (Anexo DVD)
- Los datos de las coordenadas geográficas en algunos puntos son inexactos. Esto complica el análisis, y volvería inciertos a los resultados. Sin embargo, hay mucho que se puede ubicar con el software ArcGIS que incluye herramientas que pueden facilitar esta tarea. (Anexo DVD)
- Se encontraron 17 puntos no coincidentes a nivel de distrito, 0 a nivel de provincia y 0 a nivel de departamento en la colección nacional de tomate (*Lycopersicon*, *Solanum spp.*). En el departamento del Cusco las accesiones: TS-87, TS-88, TS-90, TS-91, TS-92, TS-93 y TS-94, en que la ficha de pasaporte indica que pertenecen al Distrito de Santa Ana, pero al generar los puntos se ubican en el distrito de Marañón. En el departamento de Cajamarca las accesiones: TS-60, TS-61 y TS-62, en que la ficha de pasaporte indica que pertenecen al Distrito de Lajas pero al generar los puntos se ubican en el distrito de San Silvestre de Cochán. Las accesiones: TS-78, TS-79, TS-80, TS-81, TS-82, TS-83 y TS-84; en que la ficha de pasaporte indica que pertenecen al distrito de Jaén pero al generar los puntos se ubican en varios distritos adyacentes.
- Se llegó a ubicar estos 17 puntos no coincidentes dentro del distrito con la ayuda de una persona que realizó la colecta, el especialista de la base de datos de INIA con el software ArcGIS.

- No se completó con las rutas de colecta : Ruta: Junín – Apurímac, Ruta: Puno -Arequipa; Ruta: Piura –Tumbes, Ruta: San Martín, Ruta: Iquitos Loreto y Ruta: Amazonas.
- Los datos pasaporte de las 163 accesiones de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* se encuentran en revisión y evaluación (datos consignados en la base de datos de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología - DRGB).
- A la fecha no se ha podido terminar con la taxonomía de todas las accesiones de tomate.
- La base de datos no cuenta con código PER.

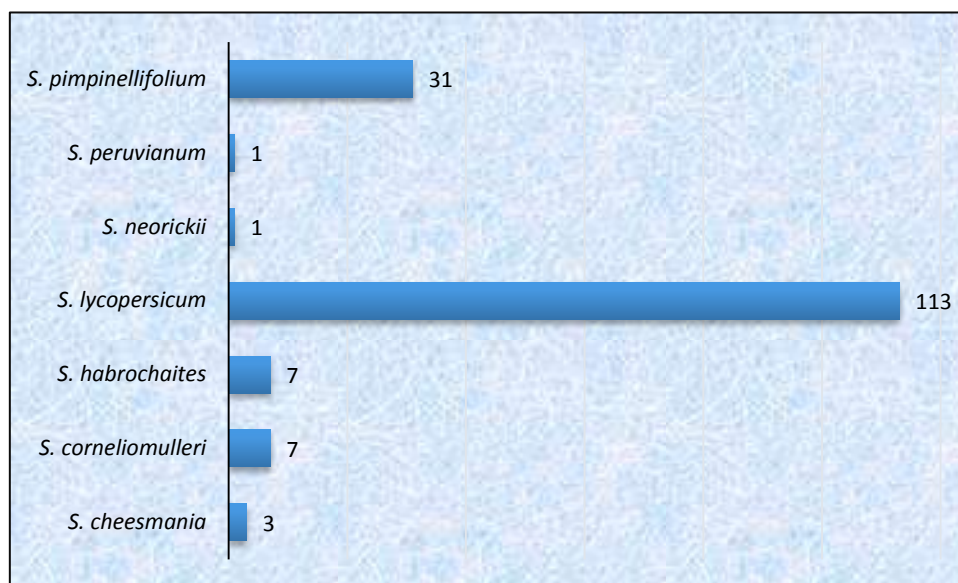


Gráfico 1. Número de accesiones por especie de tomate. Total 163 accesiones.

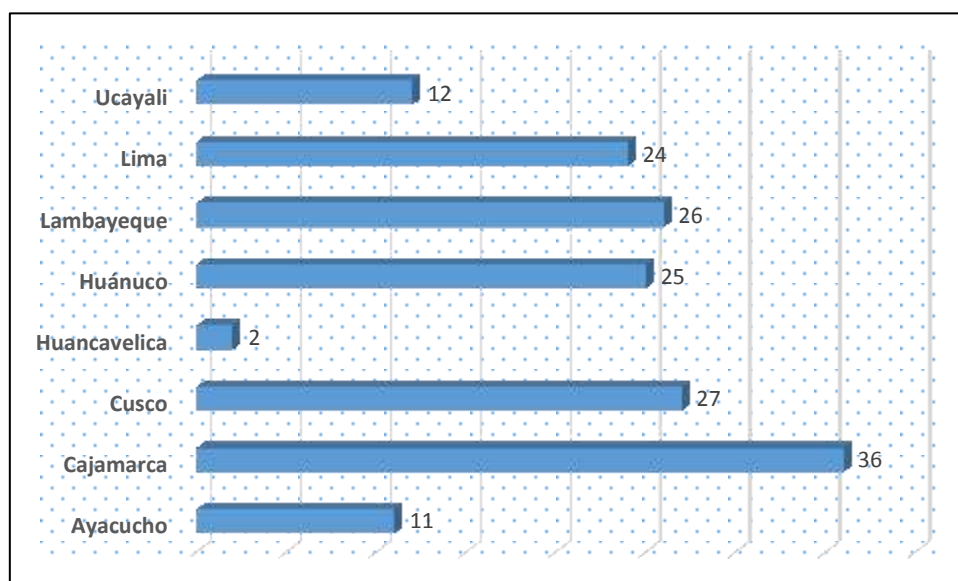


Gráfico 2. Número de accesiones de tomate por región. Total 163 accesiones.

VIII. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

VIII.I CONCLUSIONES

- La base de datos de la oficina de documentación del INIA, consta de 163 accesiones de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* Donde las fichas de colecta están completas.
- Según las base de datos de la sección *Lycopersicon*, *Solanum spp.* cuenta con 7 especies: *S. lycopersicum*, *S. pimpinellifolium*, *S. cheesmaiae*, *S. corneliomuelleri*, *S. peruvianum*, *S. habrochaites*, *S. neorickii*.
- Los datos pasaporte de las 163 accesiones de *Lycopersicon*, *Solanum spp.* se encuentran en revisión y evaluación (datos consignados en la base de datos de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología - DRGB).
- A la fecha no se ha podido terminar con la taxonomía de todas las accesiones de tomate.
- La base de datos no cuenta con código PER. Ya que se requiere terminar con la clasificación taxonómica por especie.
- Acta de Presentación y Aprobación del Plan de Trabajo. Orden de servicio N° 0377, el día 8 de abril del 2016. Sala de reuniones de la Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología del INIA.

VIII.II RECOMENDACIONES

- Usar los descriptores de pasaporte para cultivos múltiples (DPCM) para suministrar, a nivel internacional, normas fijas que faciliten el intercambio de información de pasaporte del germoplasma.
- Completar la rutas de colectas faltantes, para tener una colección nacional más completa y diversa. Ya que el Perú contiene once especies silvestres de las trece que se han clasificado taxonómicamente. (Sección *Lycopersicon*).
- Verificar taxonómicamente la especie encontrada *S. cheesmanie*, ya que esta especie es endémica de las islas Galápagos.
- Contratar un especialista para terminar con la caracterización taxonómica de las 163 accesiones de tomate (*Lycopersicon*, *Solanum spp.*), que mantiene el INIA en su banco de germoplasma.
- Un error muy frecuente es en la transcripción de los apunte de colecta a las fichas de colecta. Lo que se sugiere que la persona que ha colectado haga las fichas de colecta en todo caso que supervise de manera minuciosa el llenado de las fichas de colecta, ya que se ha encontrado los errores en la altitud y longitud y fue muy laborioso asignar los nuevos puntos de georreferenciación.
- Los puntos no coincidentes es posible que se deba en su mayoría de casos que se ha tomado mal la georreferenciación, ya que en la mayoría de las fichas tanto en la latitud y longitud; los minutos y segundos exceden a 60. Otro error podría darse que este mal escrito, que falta tildes, no coincida entre mayúsculas y minúsculas, porque que el menor error que haya el programa de

Arc Gis votara error y quedara como punto no encontrado o le asigna otro lugar.

- Los lugares que no tienen coordenadas geográficas (latitud y longitud) el Arc GIS pueda asignar las coordenadas a accesiones que tengan una descripción de su localidad esto se debe hacer con el especialista que haya colectado conjuntamente con el encargado de las base de datos.
- La disminución, pérdida, revisión taxonomía, etc de las accesiones de tomate se debe principalmente a problemas presupuestales que afrontan las instituciones del país, pues dichas colecciones fueron hechas con proyectos de cooperación técnica internacional que tienen una duración de pocos años, además a causas relacionadas a factores medioambientales, plagas, enfermedades, lo que hace muy difícil continuar manteniendo el germoplasma, sobre todo en las especies con reproducción por semilla vegetativa. En tal sentido se recomienda tener una partida presupuestal para mantener dicho banco de germoplasma ex situ.
- Toda la información y los datos generados durante el proceso de adquisición, establecimiento de la colección, manejo en campo, regeneración, caracterización, evaluación y distribución deben ser registrados. Estos datos e información abarcan desde los detalles de las características genéticas de las accesiones y las poblaciones individuales hasta la información proporcionada por las redes de distribución y los usuarios. Además de los datos de pasaporte y los descriptores normalizados de especies cultivadas, otros tipos de datos específicos de las colecciones de campo que se deben registrar son por ejemplo catálogos de plantas, imágenes (fotografías, dibujos), fechas de plantación y de recolección y notas sobre el historial de verificación de la identidad.

IX. GLOSARIO

AFLP (Amplified Fragment-Length Polymorphism): Polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados. Método muy sensible de detección de polimorfismos en el que el ADN se digiere con enzimas de restricción, los fragmentos se ligan a adaptadores y se amplifican selectivamente por PCR usando cebadores específicos. Los perfiles se analizan en geles de poliacrilamida.

ArcGIS: Es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o **SIG**

Biotecnología: Se refiere a cualquier aplicación tecnológica que haga uso de los sistemas biológicos (organismos vivos o sus derivados) para desarrollar o modificar productos o procesos con propósitos específicos. (Convención de la Diversidad Biológica 1992)

Caracterización: Descripción de las propiedades esenciales de un organismo o sistema.

Centro de origen: Zona geográfica donde adquirió por primera vez sus propiedades distintivas una especie vegetal, domesticada o silvestre“ (Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura). Estas zonas son la fuente más probable de variabilidad genética natural, y representan lugares idóneos para la conservación *in situ*.

Clasificación: Acción de disponer las especies, los tipos de vegetación o los ecosistemas en clases para formar grupos con ellas.

Concepto Ecológico De Especie: Linaje que ocupa una zona adaptiva, mínimamente diferente de cualquier otro linaje en su área de distribución y que evoluciona separadamente de los linajes que se desarrollan fuera de esta.

Concepto Morfológico De Especie: Organismos con características físicas similares.

Conservación: Forma de manejo de la biosfera de tal manera que procura el máximo beneficio para las generaciones actuales mientras se mantiene el potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras generaciones. Es una actividad positiva que incluye la preservación, el mantenimiento, el uso sostenible, la restauración y el mejoramiento del ambiente natural.

Conservación de Germoplasma: Conjunto de actividades relacionadas con el mantenimiento del acervo génico de una o varias especies.

Conservación de la Biodiversidad: Manejo de las interacciones humanas con los genes, las especies y los ecosistemas de tal manera que se promueva el beneficio máximo a la generación presente, mientras que se mantiene el potencial para satisfacer las necesidades y aspiraciones de las futuras generaciones.

Diversidad Genética: Variación en la composición genética de individuos dentro de una misma especie o entre especies diferentes. Variación genética hereditaria dentro de una misma población o entre poblaciones diferentes.

DPCM: Descriptores de Pasaporte para Cultivos Múltiples.

Diversidad de Especies: Riqueza de especies. Distribución y abundancia de especies.

Especie: Estrictamente, en su definición biológica, conjunto de organismos capaces de reproducirse entre ellos. Unidad fundamental de la biodiversidad. La riqueza de especies es una de las medidas más utilizadas para cuantificar la biodiversidad en un lugar dado.

Especie Domesticada: Especie cuyo proceso de evolución ha estado bajo la influencia del ser humano, con el fin de satisfacer sus necesidades.

Especie Nativa: Especie indígena. Especie que se da en un área determinada dentro de su ámbito natural, el cual se conoce históricamente.

Familia: Categoría jerárquica dentro de la clasificación taxonómica que incluye subfamilias (y por ende géneros) similares.

Genética Molecular: Ciencia biológica que estudia la transmisión de los genes y el fenómeno hereditario al nivel de las moléculas de los organismos.

Marcador Genético: Localidad física e identificable que se encuentra sobre un cromosoma y de la que se puede monitorear su herencia.

Mejoramiento Genético: Determinación, por selección u orientación, de especies o grupos de individuos deseables para un fin específico.

Microsatélite: Secuencia sencilla de dos, tres o hasta seis nucleótidos que se repiten muchas veces.

Nombre Científico: Nombre compuesto de dos palabras utilizado por los científicos para designar el género y la especie de un organismo.

Nomenclatura Taxonómica: Sistema de nombramiento y nombres para unidades biológicas como las especies.

Origen de las Especies: Teoría de la evolución biológica según la cual las especies se generan y diversifican a partir de otras especies, de modo que desde sus ancestros todos los seres vivos están muy ligados entre sí.

País de origen de los Recursos Genéticos: País que posee recursos genéticos en condición in situ. (Convención de la Diversidad Biológica 1992)

Recurso Genético: Material genético de valor real, comercial o potencial. (Convención de la Diversidad Biológica 1992).

RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphisms): Son variaciones en el tamaño de fragmentos de ADN generados tras digestión con enzimas de restricción debidos generalmente a cambios en la secuencia de los sitios de restricción o inserciones/delecciones entre sitios de restricción.

Silvestre: Se refiere a que ha sido criado naturalmente o sin cultivo en selvas o campos.

Taxonomía: Estudio de la clasificación de los seres vivos conforme a sus semejanzas y diferencias, nombrándolos y asignándolos a ciertos taxones.

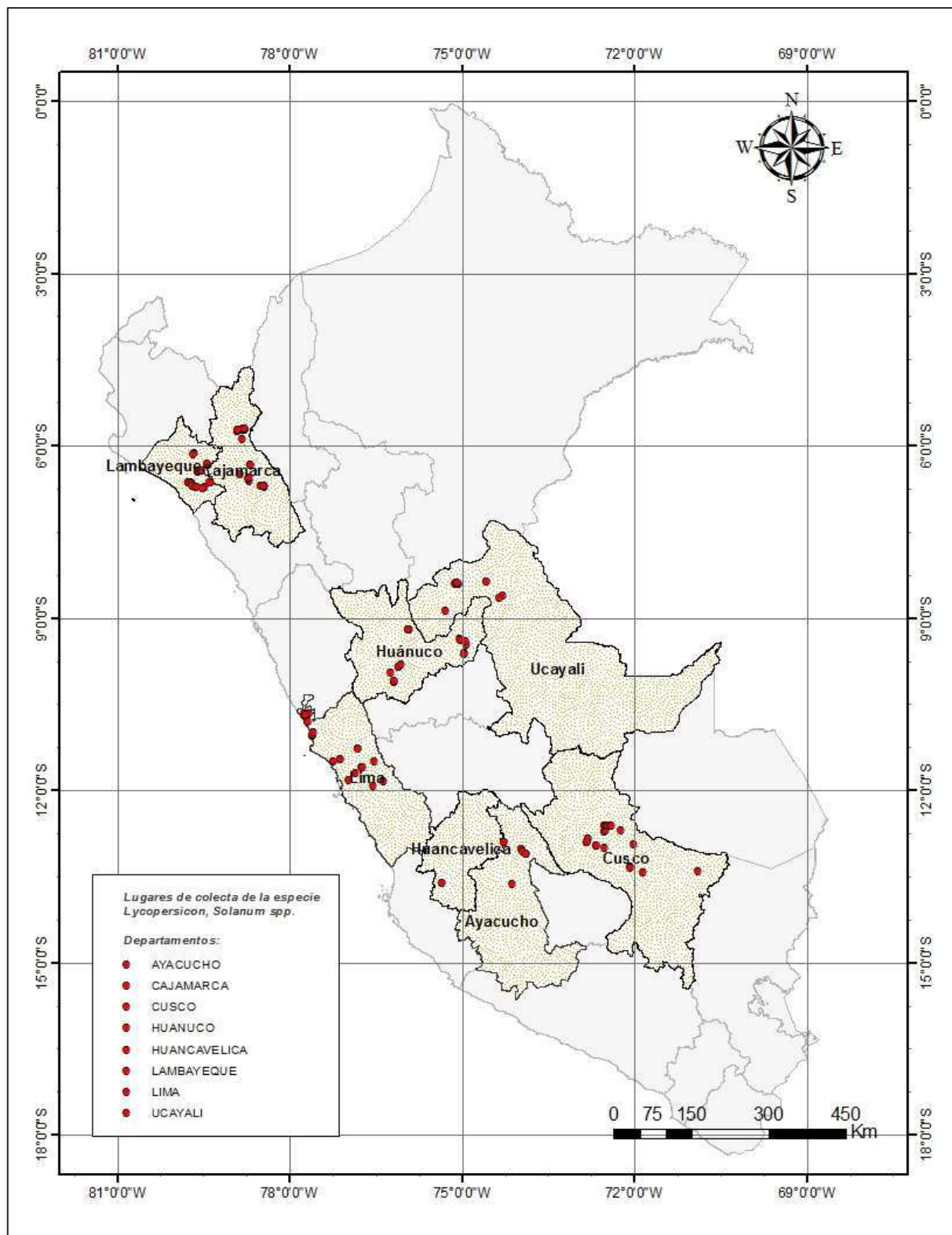
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Child A. 1990. A synopsis of *Solanum* subgenus Potatoe (G. Don) D'Arcy [*Tuberarium* (Dun.) Bitter (s.l.)]. *Feddes Repertorium* 101: 209-235
- Darwin, SC., Knapp S., and Peralta I.E. 2003. Tomatoes in the Galapagos Islands: morphology of native and introduced species of *Solanum* section *Lycopersicon* (Solanaceae). *Syst. Biodiv.* 1: 29-54
- De Candolle, A.P. 1882. L'origine des plantes cultivées. Paris.
- FAO. 2006. The State of Food and Agriculture 2010- 2011. Roma, 2011.
- Florido M. *et al.* 2007. Análisis de la diversidad Genética en Tomate (*Solanum* L. sección *Lycopersicon* subsección *Lycopersicon*) utilizando AFLP; Cultivos tropicales vol 8; n.3, p83-87.
- Foolad MR , Sharma A. 2005. Molecular markers as selection tool in tomato breeding. *Acta Horticulturae* 695:225-240
- Jenkins, JA. 1948. The origin of the cultivated tomato. *Econ. Bot.* 2: 379-392.
- Kalloo G. 1991. Breeding for environmental stress resistance in tomato. En "Kalloo G (ED) Genetic improvement of tomato. Springer- Verlag, Berlín y Heidelberg": 153-165
- Luckwill, LC. 1943. "The genus *Lycopersicon*: an historical, biological, and taxonomical survey of the wild and cultivated tomatoes. ." *Aberdeen University Studies*(120): 1–44.
- Miller, P. 1754. *The Gardener's Dictionary*, abridged 4th ed. London: John and James Rivington.
- Müller, CH. 1940a. "A revision of the genus *Lycopersicon*" U.S.D.A. *Miscellaneous Publications*(382): 1–28.
- Müller, CH. 1940b. "The taxonomy and distribution of the genus *Lycopersicon*." *National Horticulture Magazine*(19): 157–160.
- Nesbitt, TC. and Tanksley SD. 2002. "Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*: implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes." *Genetics* 162(1): 365-379.
- Nuez F, Carrillo JM. 2000. Los marcadores genéticos en la mejora vegetal. Universidad Politécnica de Valencia.
- Nuez, F. 1995. Desarrollo de nuevos cultivares, pp. 625-669. En:"Nuez, F. (ed.). *El cultivo del tomate*". Mundi-Prensa, Madrid.

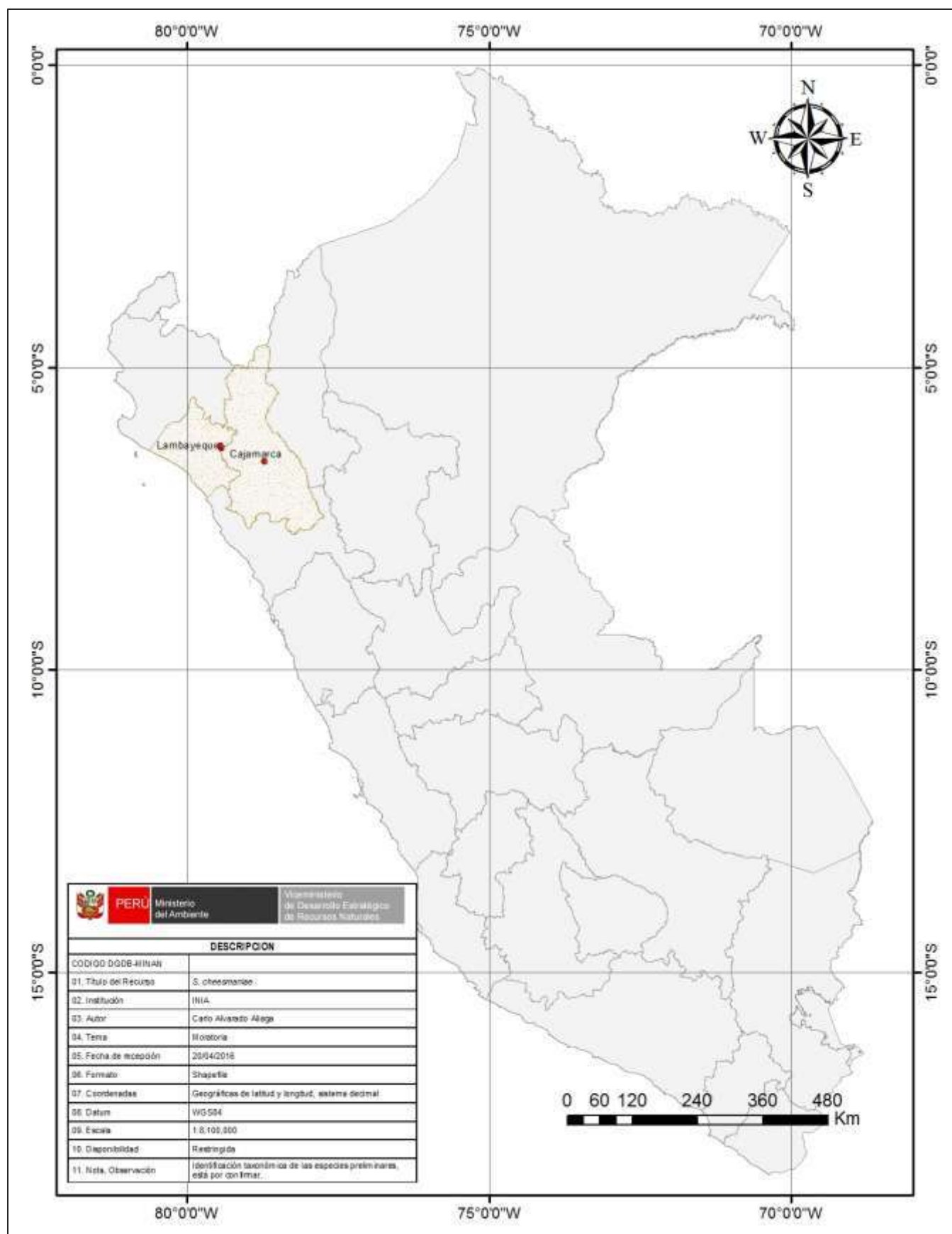
- Peralta, I., Knapp S., and Spooner DM. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from northern Peru. *Syst. Bot.* 30:424-434.
- Peralta IE, Knapp S, Spooner DM . 2006. Nomenclature for Wild and Cultivated Tomatoes. *Report of the Tomato Genetics Cooperative* 56:6-12.
- Peralta IE, Spooner DM, Knapp S. 2008. Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs* 84: 1–186.
- Rick CM. 1963. Barriers to interbreeding in *Lycopersicon peruvianum*. *Evolution* 17: 216-232.
- Rick, CM. 1973. Potential genetic resources in tomato species: clues from observations in native habitats. In AM Srb, ed, *Genes, Enzymes and Populations*. Plenum Press, New York, 255-269.
- Rick CM. 1978. El Tomate. *Investigación y Ciencia* 25: 45-55
- Rick CM, Fobes JF, Tanksley SD. 1979. Evolution of mating systems in *Lycopersicon hirsutum* as deduced from genetic variation in electrophoretic and morphological characters. *Plant Systematics and Evolution* 132: 279–298.
- Sahagún, BD. 1988. *Historia General de las Cosas de Nueva España*. Madrid
- Stevens, MA. And Rick CM. 1986. Genetics and breeding. *The Tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement*. J. G. A. a. J. Rudich. London, Chapman and Hall: 35-109
- Tanksley SD, McCouch SR. 1997. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science* 277: 1063–1066.
- Taylor, IB. 1986. Biosystematics of the tomato. In Atherton, J.G. and Rudich, J. (eds), *The Tomato Crop: a Scientific Basis for Improvement*. Chapman and Hall, London, pp. 1–34.
- Trujillo Moya Carlos. 2009. Estudio de la genética de la regeneración a partir de explantes en tomate e identificación de marcadores asociados. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Valencia. p13.
- Vallejo C. 1999. Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Colombia Cap. 1: 17, 47.
- Warnock SJ. 1988. A review of taxonomy and phylogeny of the genus *Lycopersicon*. *HorScience* 23: 669-673
- USDA. Unites States Departament of Agriculture. 2009. Tomatoes (red, ripe, raw, year round average) – Nutrient values and weights for edible portion (NDB No: 11529). USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 22. http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl (accessed 31-12-09)

XI. ANEXOS

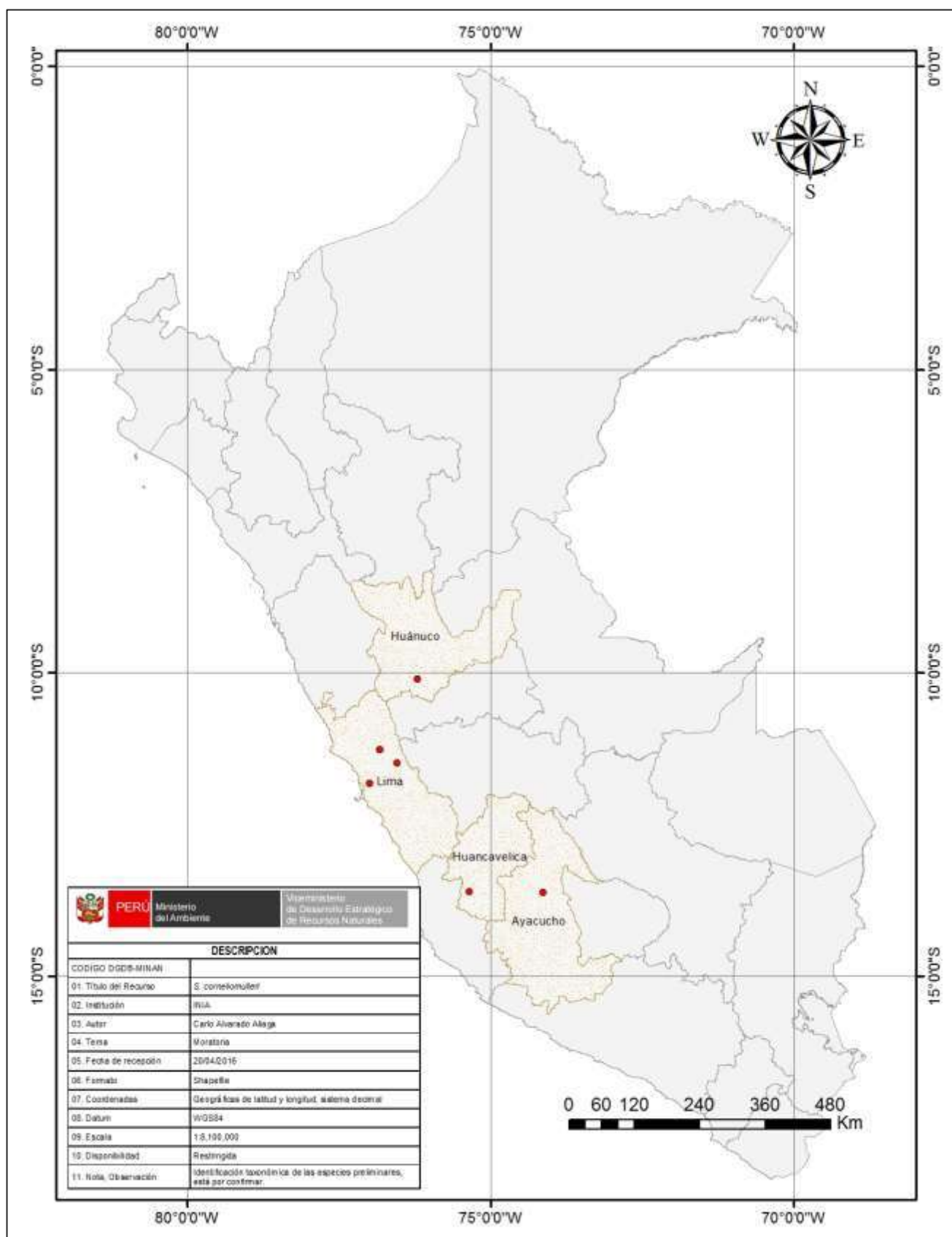
Anexo 1. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum* spp.



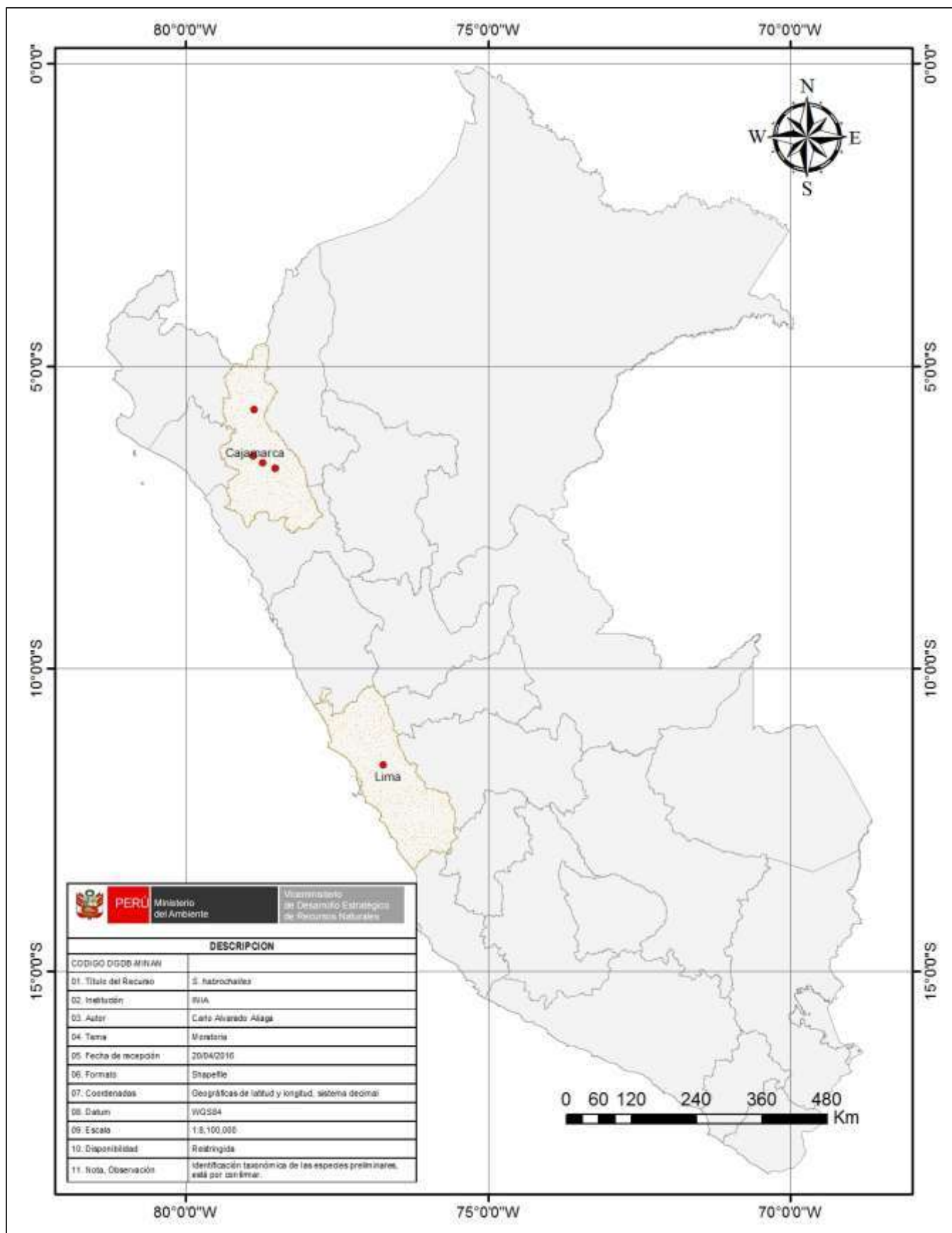
Anexo 1.1. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum cheesmaniae*.



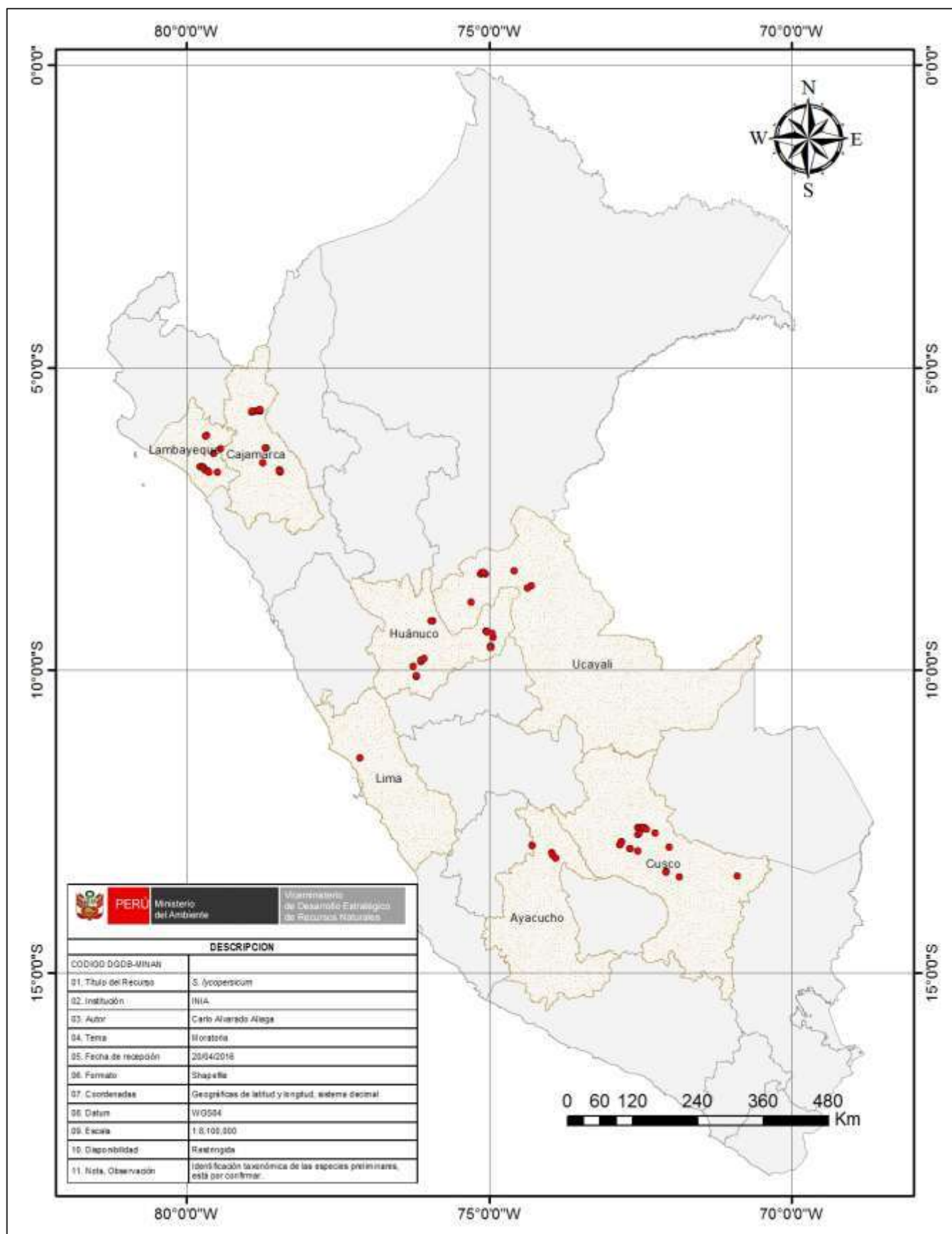
Anexo 1.2. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum corneliomulleri*.



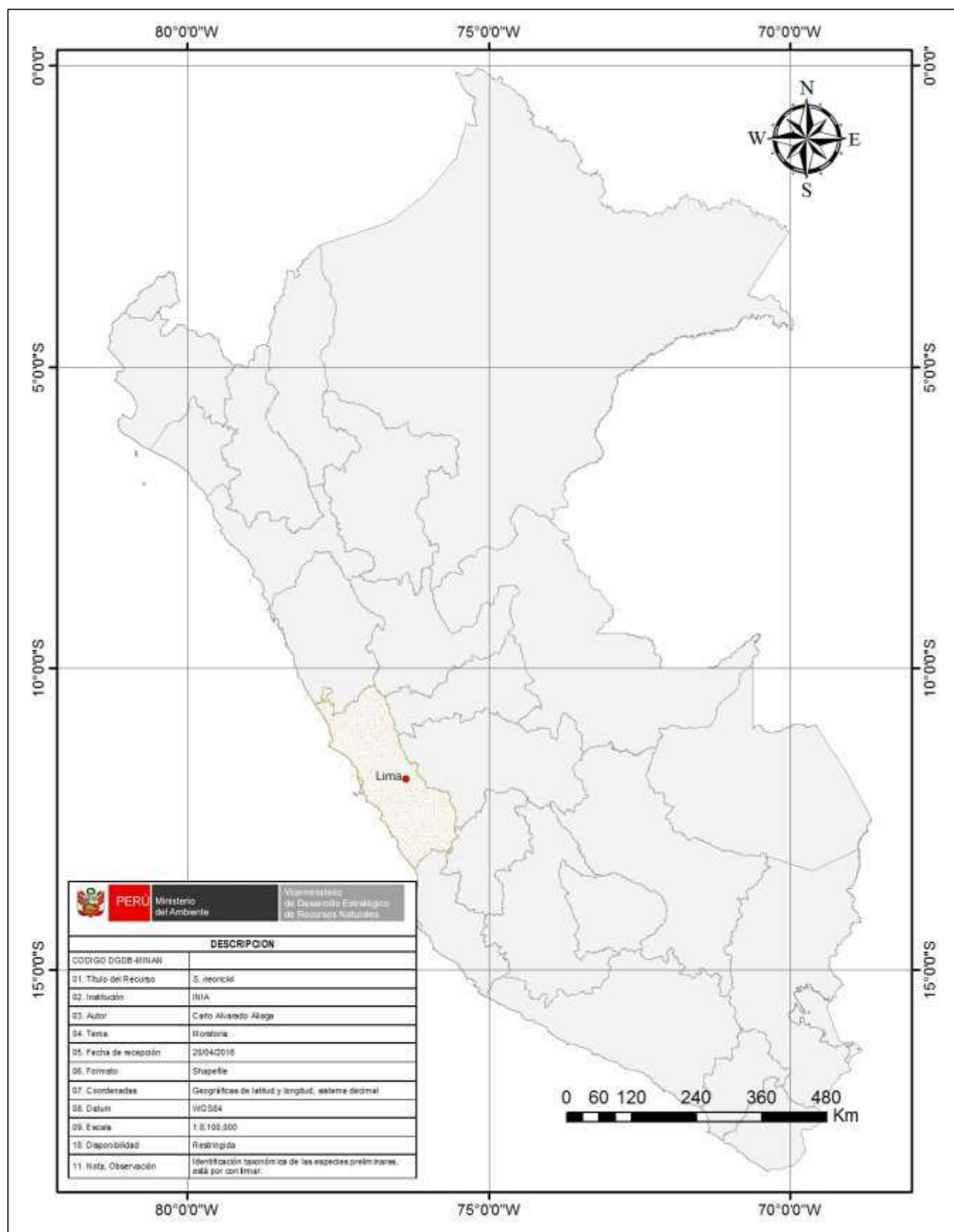
Anexo 1.3. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum habrochaites*.



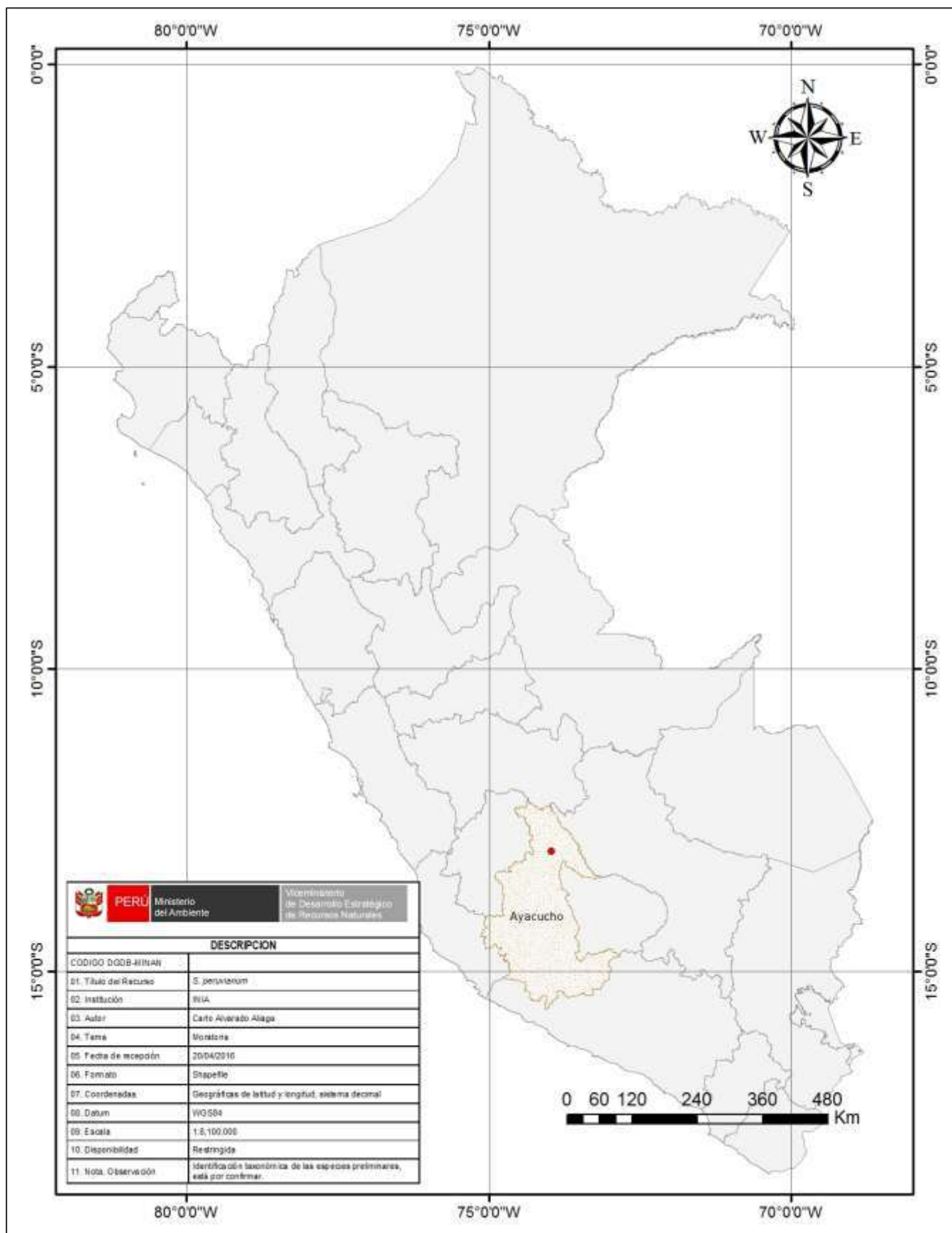
Anexo 1.4. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum lycopersicum*.



Anexo 1.5. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum neorickii*.



Anexo 1.6. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum peruvianum*.



Anexo 1.7. Mapa del Perú de la Distribución Geográfica de Sección *Lycopersicon*, *Solanum pimpinellifolium*

