

Informe final de investigación 2018

Título

Divergencia genética en caracteres técnico-productivos de frutas y su influencia en la captura de carbono y el consumo de agua

Autores y afiliación

Alexis Dueñas (UNFV)
(Responsable)

Julián Ccasani (UNFV)
Maribel Huatuco (UNFV)
(Investigadores participantes)

Esther Pinto & Daniel Inga
(Colaboradores)

Unidad de Investigación: Industrial y de Sistemas

Fecha de inicio y termino del proyecto: 01-01-2018/ 30-11-2018

Línea de investigación: Frutas, Divergencia genética, Huella hídrica, Captura de carbono

Resumen

Los estudios recientes sobre variabilidad genética se han centrado en conocer las tasas de herencia de diferentes caracteres cualitativos, cuantitativos y ligados de diferentes especímenes vegetales en condiciones controladas, básicamente en colecciones de germoplasma. Empero se requieren evaluaciones en condiciones "in situ", y esto ha abierto la posibilidad de evaluar la diversidad genética en otros términos o con análisis de profundidad (ADN). A esto se añade la necesidad de profundizar la innovación agrícola, extendiéndola no solo a las preferencias de los mercados y consumidores, sino también a sus condiciones ambientales.

Se ha demostrado que existe un nivel de influencia de la diversidad genética, léase divergencia, en los parámetros técnico productivos, consumo de agua y captura de carbono de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación significativo entre especies y no relevante para el caso de variedades dentro de una misma especie. También se determinó que la huella hídrica de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación presenta variaciones importantes a nivel de especies en cuanto al consumo per capita y consumo por unidad métrica de producción, con valores inferiores a $\alpha=0.05$ para la prueba de Mann-Withney-Willcoxon. Similar conclusión se aprecia para el caso de la influencia de la diversidad genética en la captura de carbono.

Palabras clave: Biodiversidad, divergencia genética, captura de carbono, huella hídrica

Abstract

Recent studies on genetic variation have focused on known rates of inheritance of different qualitative, quantitative, and linked characters of different plant specimens under controlled conditions; basically collections of germplasm. However required assessments under conditions "in site", and this has opened the possibility of assessing the genetic diversity in other terms or with depth (DNA) analysis. Added to this is the need to deepen agricultural innovation, extending it to not only to markets and consumer preferences, but also to their environmental conditions.

It has been shown that there is a level of influence of the genetic diversity, read divergence parameters technical production, water consumption and carbon capture of Peruvian fruits of significant agro-export between species and cultivars relevant in the case of varieties within the same species. Also determined that the water footprint of the cultivars of Peruvian fruits of agro-export has important variations at the level of species in terms of per capita consumption and consumption per unit of production, with values lower than $\alpha = 0.05$ for the proof of Mann-Withney-Willcoxon. Similar conclusion can be saw in the case of the influence of the genetic diversity in carbon capture.

Palabras clave: Biodiversidad, divergencia genética, captura de carbono, huella hídrica

Introducción

Problema

Los estudios recientes sobre variabilidad genética se han centrado en conocer las tasas de herencia de diferentes caracteres cualitativos, cuantitativos y ligados de diferentes especímenes vegetales en condiciones controladas, básicamente en colecciones de germoplasma (Querol, 1988; Poehlman & Allen, 2003; Morillo A. C., Morillo, Sandoval, & Hernando, 2014). Empero se requieren evaluaciones en condiciones "in situ", y esto ha abierto la posibilidad de evaluar la diversidad genética en otros términos (Calvet-Mir, Garnatje, Parada, Vallès, & Reyes-García, 2014) o con análisis de profundidad (ADN) (Bernal-Parra, Ocampo-Pérez, & Hernández-Fernández, 2014). A esto se añade la necesidad de profundizar la innovación agrícola, extendiéndola no solo a las preferencias de los mercados y consumidores, sino también a sus condiciones ambientales (Banco Mundial, 2006).

Como consecuencia de lo anterior, surgen las siguientes preguntas: ¿Cuál es el nivel de influencia de la diversidad genética, léase divergencia, en los parámetros técnico productivos, consumo de agua y captura de carbono de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación?, ¿qué tipo de influencia ejerce la diversidad genética en los parámetros técnico productivos, de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación?, ¿Cuál es el efecto que ejerce la diversidad genética en el consumo de agua, de los cultivares de frutas peruanas? Y por último, es importante conocer ¿cuál es la influencia de la diversidad genética en la captura de carbono estos cultivares?

Antecedentes

La importancia de la diversidad genética, en la agricultura y en particular en las agroindustrias, se remonta a inicios del siglo XX. Los trabajos de Vavilov, Harlan, Pope, entre otros, permitieron establecer, con bases científicas, que los cultivos conocidos por el hombre operaban sobre bases genéticas diversas y que eran resultados de complejos procesos de selección natural y artificial (Vavilov, 1951; Harlan, 1975; Altieri & Nicholls, 1989). Los hallazgos empíricos demostraron la importancia de la diversidad genética como fuente de mejoramiento de los cultivos actuales en sanidad, resistencia a plagas y enfermedades, pero en particular en la síntesis de metabolitos aprovechables para la agroindustria, industria alimentaria, medicina y farmacología, industria química y biotecnología, lo cual obligó a desarrollar técnicas de conservación “ex situ” en bancos de germoplasma alrededor del mundo.

Diversos autores han señalado los límites para la conservación de los bancos de germoplasma, no solo por los costos que representan, sino por la variación genética ocasionada por los procesos adaptativos de orden ecológico y social (Querol, 1988). Con esa finalidad se elaboraron protocolos de evaluación de la diversidad genética “in situ” y mecanismos de conservación en fincas campesinas y de agricultores independientes (Piñero, Caballero-Mellado, Cabrera-Toledo, Canteros, & Casas, 2008; Dueñas, Mendivil, Lovanton, & Loaiza, 1991). En esta perspectiva se inscriben los estudios relacionados con el análisis de mercados genéticos (Becerra & Paredes, 2000) y aquellos que propician su uso como estrategias de desarrollo local y regional (Suso, Bocci, & Chable, 2013).

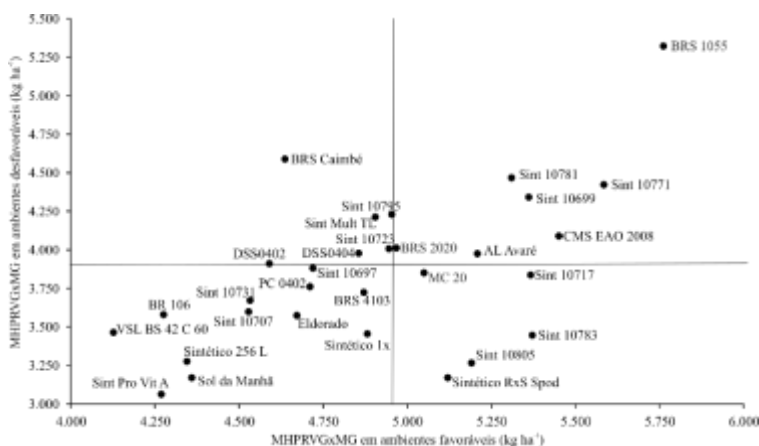


Figura 1. Diversidad genética y diferencia de factores biométricos en cultivares de maíz (*Zea mays*)

Fuente: (Oliveira, Atroch, Costa, Guimaraes, & De Oliveira, 2017)

Objetivos

General

- ✚ Establecer el nivel de influencia de la diversidad genética, léase divergencia, en los parámetros técnico productivos, consumo de agua y captura de carbono de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación.

Específicos

- ✚ Determinar la influencia de la diversidad genética, en los parámetros técnico productivos, de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación.
- ✚ Determinar la influencia de la diversidad genética, léase divergencia, en el consumo de agua, de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación.
- ✚ Estimar la influencia de la diversidad genética, léase divergencia, en la captura de carbono, de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación.

Justificación e importancia

Una investigación relacionada con la diversidad genética de los cultivares de frutas exóticas para la agro-exportación se justifica desde tres perspectivas. En primer lugar, no debe olvidarse que el Perú, en los últimos 17 años ha registrado importantes avances en el campo de la agro-exportación, aumentando considerablemente tanto los volúmenes exportados como las divisas obtenidas en este proceso. Según fuentes oficiales, las agro-exportaciones pasaron de mil millones de soles en el 2001 a más de cinco mil millones en el 2014, es decir registró una tasa de crecimiento 500% en dieciséis años, a razón de tasas de 31% anual (Prom Perú, 2015; INEI, 2014; ADEX, 2016). La importancia comercial y económica, sin embargo, reviste la necesidad de conocer cómo influye la diversidad genética en el portafolio de frutas de exportación para ello, es importante hacer un mapeo de campo para conocer qué variedades o cultivares, propios e introducidos generan mayor impacto en su composición nutricional, en el consumo de agua y en la captura de carbono.

En segundo lugar, existe una justificación de orden metodológico, que tiene relación con la forma en la que se deben realizar estudios de diversidad genética en condiciones “in situ”. Son ampliamente conocidas las técnicas de evaluación “ex situ” (bancos de germoplasma) respecto a la variabilidad genética y fenotípica de cultivares y de muestras silvestres, las cuales sin embargo, no son evaluadas en condiciones de campo, retrasando el proceso de fitomejoramiento. Un aporte metodológico en ese aspecto implicaría analizar el aporte de la variabilidad en aspectos técnico-productivos de cultivares, por ejemplo de frutas de exportación, que se traduciría en un mejor conocimiento de las capacidades productivas de la diversidad genética empleada en la agroexportación.

En tercer lugar, existe la necesidad, desde el punto de vista teórico, de profundizar el conocimiento respecto al comportamiento de diversos caracteres técnico-productivos. Por ejemplo, es necesario conocer si las diferencias encontradas en rendimiento, consumo de agua o captura de carbono, tendrían una razón genotípica o fenotípica o ambas, como lo consideraba en su momento Vavilov (1951) y Harlan (1975). A esto se añade la posibilidad de conocer la relación que hay entre la diversidad genética y la captura de carbono, y aunado a ella, a los consumos de agua, lo cual es relevante en condiciones del desierto árido del sur del Perú.

Marco Teórico

Los estudios biométricos ocupan un lugar de relevancia, no solo por el aporte teórico en el conocimiento de la biodiversidad, sino por sus consideraciones metodológicas (Mather & Jinks, 1985). Esta línea de investigación ha dado resultados muy importantes para medir la variabilidad en diversos cultivos como papa (Campos, 2014), zanahoria (Carvalho, Silva, & Resende, 2017), caña de azúcar (Andrade-Neto, 2017), maíz (Oliveira, Atroch, Costa, Guimaraes, & De Oliveira, 2017), frutales (Ortíz, Acevedo, & Martínez, 2002), entre otros. Según estas fuentes, se han propuesto diversos métodos de adaptabilidad y estabilidad, que tienen como variable de interés el rendimiento (Cruz, Carneiro, & Regazzi, 1994). En otros casos, se proponen analizar los efectos fijos de ciertos parámetros biométricos que son heredables, que pueden ser tratados por medio de regresiones y ecuaciones con diferentes ajustes (De Resende, 2007), tales como el modelo integrado bajo la expresión:

$$y=Xb+Zg+Wc+\varepsilon \quad (1)$$

Donde; y , b , g , c y ε corresponden a los vectores de efectos fijos (media de los bloques o del factor ambiental) generado por procesos aleatorios “ y ”. X , Z , W son las matrices de incidencia para b , g y c , respectivamente (Oliveira, Atroch, Costa, Guimaraes, & De Oliveira, 2017). Cabe anotar, que los estudios sobre diversidad genética y biometría en frutas tienen como antecedente a los trabajos de Brack (2003), y que se han extendido a diversas frutas principalmente exóticas como la nuez brasileña (Calanzas, y otros, 2016), palta o aguacate (Ponce, 2013; Cañas, Galindo, Arango, & Saldamando, 2015), naranja (Morillo A. , y otros, 2009), mandarina (Orduz-Rodríguez, Monroy, Barrera, Núñez, & Ligarreto, 2012). Recientemente se han desarrollado pioneros trabajos, mediante el uso de la herramienta del análisis del ciclo de vida en cultivos y frutas peruanas, con el propósito de evaluar su desempeño ambiental (Quispe, Vázquez-Rowe, Kahhat, Arena, & Suppen, 2016), o identificar y estimar sus cargas y presiones ambientales (Vázquez-Rowe, Kahhat, Santillán-Saldívar, Quispe, & Bentín, 2017) y de ese modo, pronosticar los impactos asociados a su cultivo.

De otro lado, los estudios recientes sobre variabilidad genética se han centrado en conocer las tasas de herencia de diferentes caracteres cualitativos, cuantitativos y ligados de diferentes especímenes vegetales en condiciones controladas, básicamente en colecciones de germoplasma (Querol, 1988; Poehlman & Allen, 2003; Morillo A. C., Morillo, Sandoval, & Hernando, 2014). Empero se requieren evaluaciones en condiciones “in situ”, y esto ha abierto la posibilidad de evaluar la diversidad genética en otros términos (Calvet-Mir, Garnatje, Parada, Vallès, & Reyes-García, 2014) o con análisis de profundidad (ADN) (Bernal-Parra, Ocampo-Pérez, & Hernández-Fernández, 2014). A esto se añade la necesidad de profundizar la innovación agrícola, extendiéndola no solo a las preferencias de los mercados y consumidores, sino también a sus condiciones ambientales (Banco Mundial, 2006).

Método

Unidades de análisis y ámbito del estudio

Las unidades de análisis del proyecto de investigación son las explotaciones agrícolas del departamento de Ica que disponen en su portafolio de cultivos al menos 0.5 has de plantaciones de frutas exóticas destinadas a la agro-exportación. De ellas se toman diferentes muestras en función de las variables de interés que se detallan en la tabla siguiente.

Tabla 1

VARIABLES E INDICADORES DE INTERÉS PARA EL ESTUDIO PROPUESTO

VARIABLES	INDICADOR	FUENTE DE INFORMACIÓN
Caracteres morfológicos	Dimensiones del fruto	Ficha de observación (caracteres morfológicos)
	Coloración (pulpa y cáscara)	
	Peso (bruto y neto)	
Caracteres productivos	Contenido de proteínas	Resultados análisis proximal
	Contenido de carbohidratos	
	Contenidos de aceites esenciales	
Consumo de agua	Evapotranspiración específica	Datos SENAMHI Medición en campo AQUAcrop software
	Consumo específico	
	Huella hídrica del cultivo	
Captura de C	Biomasa	Ficha de observación (caracteres biométricos) Medición en campo (muestreo no destructivo) Ecuaciones alométricas
	Altura de planta	
	Diámetro de planta	
	Densidad	

a. UNIDADES DE ANÁLISIS PARA EL ESTUDIO DE LA DIVERGENCIA GENÉTICA

A fin de determinar la muestra de unidades agropecuarias debe considerarse el marco muestral, que se detalla en la tabla 2, según el cual, el 42.3% de las unidades corresponden al tipo agrícola, y el 50.4% son unidades propiamente pecuarias.

Tabla 2

UNIDADES AGROPECUARIAS POR CAPACIDAD MÁXIMA DE USO DEL SUELO

DEPARTAMENTO	TOTAL SUPERFICIE	SUPERFICIE AGRÍCOLA	SUPERFICIE PRADERA NATURAL	SUPERFICIE MONTES Y BOSQUES	SUPERFICIE OTROS USOS
ICA	599 503.17	253 820.61	302 390.30	19 161.59	24 130.67

Fuente: (INEI, Resultados finales del IV CENAGRO, 2013)

Un dato adicional de importancia es conocer el número de productores agropecuarios, el cual se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3

NÚMERO DE PRODUCTORES AGROPECUARIOS EN LA REGIÓN ICA

DEPARTAMENTO	TOTAL	PERSONA NATURAL	SAC	SAA	SRL	EIRL	COOPERATIVA AGRARIA	COMUNIDAD CAMPESINA	COMUNIDAD NATIVA	OTRA
ICA	32 522	31 825	440	37	39	59	11	15	0	94

Nota: SAC: Sociedad anónima cerrada; SAA: Sociedad anónima abierta; SRL: Sociedad de responsabilidad limitada; EIRL: Empresa individual de responsabilidad limitada. Fuente: (INEI, Resultados finales del IV CENAGRO, 2013)

Dada la importante incertidumbre, respecto a si todas las unidades agropecuarias con superficie agrícola y que todas los productores agropecuarios cumplen con el requisito de tener al menos 0.5 ha. de plantaciones con frutales dedicados a la exportación, se propone desarrollar un muestreo aleatorio, para estimar el promedio y el total de la población con las consideraciones siguientes:

$$n = \frac{Npq}{(N - 1)D + pq}$$

Donde: $D = \frac{B^2}{4}$ y $q=1-p$, según la cual p y q representan la probabilidad de contar o no con el atributo. De ese modo se tiene, que el tamaño de la muestra, sería:

✚ Para el caso de la superficie agrícola:

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq} = \frac{(253820.61)(0.5)(0.5)}{(253820.61 - 1)\left(\frac{0.05^2}{4}\right) + (0.5)(0.5)} = 399 \text{ ha.}$$

✚ Para el caso del número de productores agropecuarios:

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq} = \frac{(32522)(0.5)(0.5)}{(32522 - 1)\left(\frac{0.05^2}{4}\right) + (0.5)(0.5)} = 369 \text{ productores}$$

Si además se considera, por información censal, se tiene que Chincha representa el 13.6% de la superficie cultivada, Pisco el 15%, Ica el 43%, Palpa 6% y Nazca 22%. En la tabla 4 se aprecia la distribución de unidades muestrales por provincias de la región Ica.

Tabla 4

Distribución de unidades de análisis según superficie y número de productores

Provincia	Proporción de la superficie cultivada	Superficie a evaluar	Número de productores a entrevistar
Chincha	0.14	56	52
Pisco	0.15	60	55
Ica	0.43	171	159
Palpa	0.06	24	22
Nazca	0.22	88	81
Total	1.00	399	369

b. Unidades de análisis para el estudio de la captura potencial de carbono

Para el estudio de la captura potencial de carbono debe tomarse en cuenta que la superficie a evaluar debería constituir una sub muestra de la muestra determinada para el caso de las unidades agropecuarias a entrevistas, que según su superficie sería 399 ha. o 369 productores. Y siguiendo las consideraciones expuestas por Dueñas (2017) para la segmentación de cuencas con fines de evaluar la captura potencial de carbono, se tendría que colocar al menos cuatro unidades muestrales por cuenca. En la fig. 2, se aprecia las cuencas de la región Ica y cuya distribución en extensión se aprecia en la tabla 5, bajo el argumento que la relación entre superficie y número de productores es 0.92.



Figura 2. Cuencas hidrográficas de la región Ica. Fuente: (La República, 2001)

Tabla 5

Número de unidades muestrales para determinar la captura promedio de carbono por unidad de superficie

Cuenca	Superficie en ha.	Proporción	Unidades muestrales
Pisco	4 376	0.16	6
Ica	8 310	0.30	8
Rio Grande	10 762	0.40	8
San Juan	3 960	0.14	4
Total	27 408	1.00	26

Fuente: (La República, 2001)

c. Unidades de análisis para el estudio del consumo de agua de riego

A fin de determinar el consumo de agua por parte de los cultivos de frutales con fines de exportación, debe tomarse en consideración la superficie efectivamente regada, es decir aquella que posee infraestructura de riego y que además sean unidades de análisis con al menos 0.5 ha de plantaciones de frutales. Según el INEI (2013) el 23% de la superficie del departamento tendría tales condiciones, esto quiere decir, que deben evaluarse un total de 93 ha o 86 productores agrarios, conforme al detalle de la tabla 6.

Tabla 6

Número de unidades muestrales para el estudio del consumo de agua

Provincia	Superficie a evaluar	Número de productores a entrevistar
Chincha	13	12
Pisco	14	13
Ica	40	37
Palpa	6	5
Nazca	20	19

Instrumentos de recopilación de datos y fuentes de información

Con el propósito de recolectar datos de calidad se empleó instrumentos de recolección de información, que se explica a continuación:

- ✚ Ficha de observación de caracteres morfológicos.- Esta ficha considera reportar información relativa a las dimensiones, peso, coloración, tamaño, altura de incisión del fruto, número de frutos por planta, variedad y especie.
- ✚ Reporte del análisis proximal.- En este reporte, léase base de datos, se señalan las concentraciones de carbohidratos, vitaminas, aceites esenciales, minerales, proteínas, entre otros.
- ✚ Ficha de observación de captura potencial de carbono.- Esta ficha considera reportar datos sobre la altura del espécimen, diámetro, número de ramas, número de hojas por rama, radio basal y densidad.
- ✚ Reporte de medición en campo.- Esta base de datos, consigna la información sobre el estado de la infraestructura de riego, caudal, pérdidas operacionales, evapotranspiración, número de riegos, dotación por riego, volumen total de consumo de agua y eficiencia del riego.

Procedimiento del tratamiento de datos

El procedimiento de tratamiento de datos, consistió en la aplicación de las siguientes técnicas estadísticas:

- ✚ Análisis exploratorio de datos.- Este procedimiento incluye la evaluación o auditoría de datos inconsistentes y valores atípicos (outlayer). Se evalúa la distribución de los datos, así como naturaleza de las variables para ser consignadas en la base de datos, que será organizada con ayuda del SPSS 24.
- ✚ Resumen numérico de datos.- Este procedimiento considera la estimación de parámetros de tendencia central, dispersión y medias de simetría y apuntamiento que permitan asegurar la obtención de la media muestral y varianza muestral, y cuando corresponda la proporción.
- ✚ Construcción de modelos correlacionales y de causalidad.- Se emplearán diseños correlacionales en función de la naturaleza de las variables y se esbozaran modelos regresionales multivariados para explicar el consumo de agua y la captura de carbono.
- ✚ Se diseñó experimentos por factores para determinar si la variabilidad genética, léase variedad, incide o no en los parámetros técnico-productivos de las frutas y en su consumo de agua y captura potencial de carbono.
- ✚ Por último, se aplicarán pruebas de hipótesis para demostrar si existen o no diferencias razonables entre variedades, respecto a su composición, parámetros morfológicos, consumo de agua y captura de carbono.

Resultados

1. Dinámica productiva de sector frutícola en la costa hiper-árida peruana. Hallazgos recientes

Las cifras oficiales destacan la importancia de los cultivos frutícolas como un segmento no solo importante para la economía agraria del país, sino como un emergente cluster de desarrollo para las exportaciones no tradicionales. Conjuntamente que el café y el espárrago, cultivos tradicionales de exportación, la superficie de cultivos de frutas y nueces van creciendo de manera sostenida. En ese contexto, son notorios los avances de la palta, bananos, y uva (Fig. 3), dado la expansión de la superficie con intensión de siembra entre la campaña 2014-2015 y la declarada para la campaña 2017-2018.

La figura anteriormente comentada es ilustrativa además porque en el caso de las frutas, se describe una tendencia creciente para todo el país, y en la cual, un rol importante juegan las economías agraria de las regiones del eje costero, en especial Piura, Lambayeque y La Libertad, así como Ica y Moquegua. Esta dinámica expansiva tiene correlato con la recuperación de los precios internacionales de frutas exóticas o tropicales, que gozan del aprecio de consumidores americanos, europeos o asiáticos. Sin embargo, tales cultivos se desarrollan en un contexto de aridez y escasez importe de agua, con importantes consumos de agua azul y cuyo impacto económico y ambiental resultarían siendo antagónicos entre sí (Vasquez, y otros, 2017; Salmoral G. , y otros, 2011).

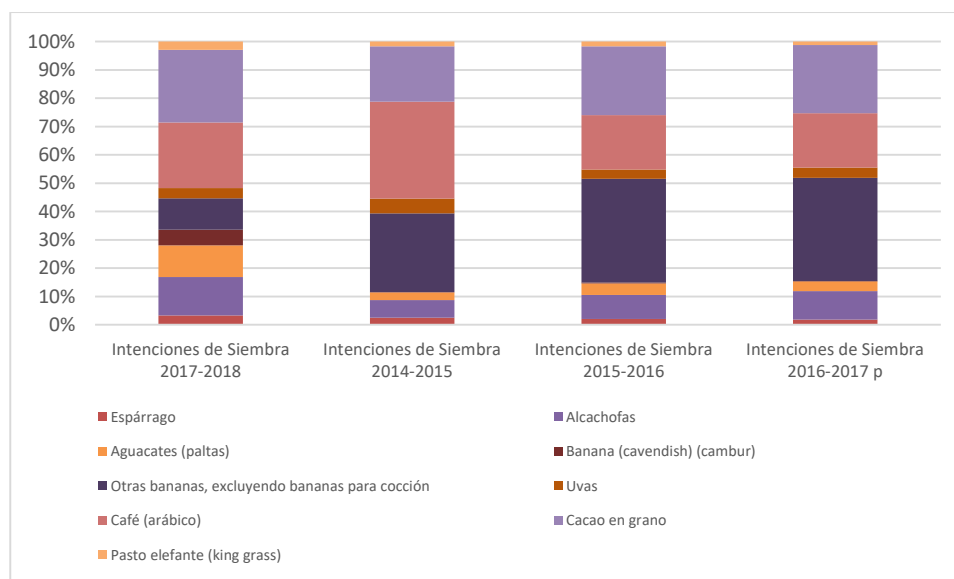


Figura 3. Estructura productiva del subsector de cultivos perennes en el Perú (intenciones de siembra 2013-2018). Fuente MINAGRI, 2018. Elaboración propia.

2. Características productivas para la exportación en Ica: superficie cultivada, cultivares y volúmenes producidos de frutas y nueces o similares

Una imagen frecuente en la literatura especializada es describir a Ica como una economía agraria en torno del algodón y el espárrago, y en tiempos más recientes el renovado interés por el cultivo de vid, que ha hecho emblemático no solo el pisco peruano, sino la exportación de uva de mesa (De Althaus, 2007). Pero esa es solo una imperfecta fotografía que caracteriza más el pasado productivo de hace dos décadas de esta región, cuya extensión es similar a Israel, y que sin embargo tiene potencialidades productivas mucho más diversas que las descritas antes (ADEX, 2016).

En efecto, en Ica podría hasta afirmarse que tiene una diversidad muy alta de especies y cultivos agroindustriales y en particular de frutas y nueces o similares. La tabla 7 detalla

información en cuanto a superficie, producción, rendimiento, precio y valor bruto de la producción [VBP] de aproximadamente 28 cultivos, cuyas superficies van desde 3.3 miles de hectáreas, tal es el caso de la Palta, hasta una hectárea para el cultivo de guayaba. A diferencia de lo que pudiera pensarse, la estrategia agroexportadora, al menos en el caso de frutas, desafía todo pronóstico de concentración den un portafolio muy reducido de cultivos con extensiones importantes de cultivo (Altieri & Nicholls, 1989; Querol, 1988)

Tabla 7

Superficie, producción rendimiento, precio y valor bruto de la producción según cultivos de frutas y nueces

Cultivo	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ ha.)	Precio al productor (S/. /t)	Valor bruto de la producción (millones de soles S/.)
Palta	3,357	50,842	15.11	2,871.02	146.70
Banano+Platano	77	2,120	15.11	2,871.02	146.70
Higo	177	443	27.72	559.93	1.19
Mango	717	7,014	2.51	1,404.89	0.62
Guayaba	1	6	9.79	1,183.37	8.18
Papaya	5	39	6.30	1,377.98	0.01
Maracuya	2	8	9.72	1,282.41	0.05
Granadilla	3	28	5.45	706.42	0.01
Chirimoya	31	153	8.14	2,318.63	0.07
Guanabana	13	75	4.99	2,999.79	0.46
Pepino	81	1,316	5.95	3,154.47	0.24
Ciruela roja	162	1,806	16.26	721.51	0.95
Toronja	24	696	11.21	843.46	1.50
Limón	45	1,247	29.60	894.30	0.57
Lima	1	9	27.42	1,508.33	1.87
Naranja	945	25,190	8.93	1,400.00	0.01
Mandarina	2,027	77,840	26.67	1,269.73	32.00
Tangelo	1,164	40,364	38.38	1,268.66	99.21
Uva	9,736	209,959	34.65	800.50	32.30
Manzana	131	1,051	21.53	2,323.12	487.83
Pera	10	69	8.01	1,548.73	1.67
Membrillo	17	164	7.30	2,537.08	0.18
Melocotón	91	534	9.70	1,019.60	0.17
Lúcuma	158	1,696	5.83	2,674.00	1.44
Arándano	26	109	10.77	2,284.99	3.88
Pacae	87	600	4.17	37,794.75	4.10
Tuna	131	235	6.90	2,326.84	1.40
Granada	540	8,425	1.81	1,458.24	0.34
Pecana	677	2,011	15.65	2,151.86	18.36
Total	20,430	434,051			876.28

Fuente: MINAGRI, 2018. Elaboración propia

Sin embargo, debe anotarse que toda esta diversidad de cultivos perennes no está dirigida exclusivamente a atender las demandas de la creciente exportación, sino que solo un grupo muy reducido de cultivos se destina para ese fin y que consiguientemente explican el 92% de la superficie destinada a la agro-exportación. Los cultivos de uva, palta, mandarina, tangelo, naranja, entre otros, ocupan una superficie anual promedio de 18.73 miles de hectáreas, tal

como se aprecia en la figura 4. A esto debe añadirse que los tres primeros cultivos explican más del 70% de la superficie de exportación con cultivos perennes.

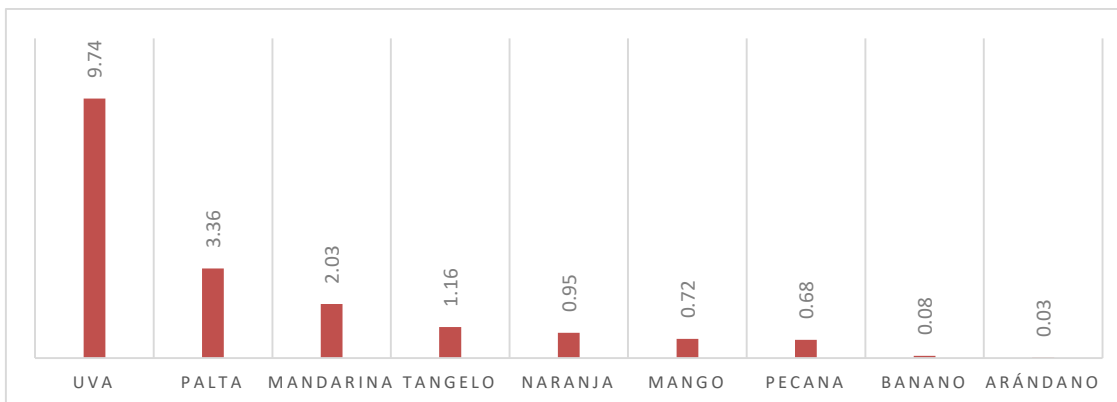


Figura 4. Superficie sembrada (promedio anual) con cultivos frutícolas y nueces y/o similares para exportación en Ica. Fuente. MINAGRI, 2018. Elaboración propia.

Un panorama similar se aprecia, en el caso de los volúmenes producidos, donde la uva destaca no solo por ocupar una vasta superficie de cultivo sino aportar la mitad de los volúmenes producidos para la exportación (Fig. 5). Como bien se sabe, estas proporciones deben tomarse con cautela, dado las diferencias sustanciales de agua contenida y materia seca, que en el caso de las frutas es extremadamente variable (Brack, 2003). Es importante comentar, que los rendimientos son también variados, pero en el caso de la mandarina se tendría un mejor desempeño productivo que la palta o aguacate. En el resto de cultivos la correlación entre superficie y volumen producido es alta (Pearson=0.97).

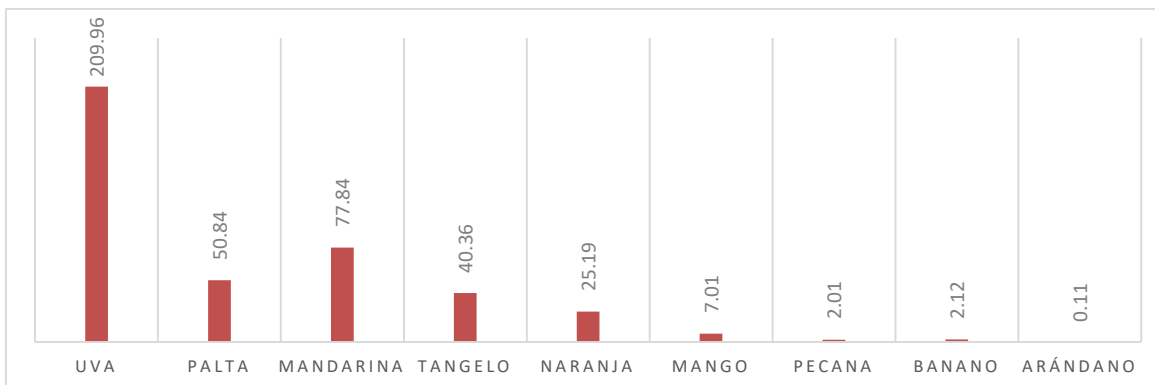


Figura 5. Volumen de producción de frutas y nueces y/o similares para exportación en Ica. Fuente MINAGRI, 2018. Elaboración propia.

3. Diversidad genética: una aproximación a la distribución de la divergencia genética de cultivares de frutas de exportación en Ica

En el apartado anterior se señaló que la estrategia productiva dominante consistió en incorporar nuevos cultivos al portafolio de pequeños productores; en tanto que la sustitución de especies, se desarrolló eficazmente en la mediana y gran propiedad al concentrar importantes extensiones de cultivo, con clara orientación a la exportación. Como consecuencia de ello, se tiene una configuración muy peculiar y tal vez propia de la agro-exportación costera, que combina la heterogeneidad de cultivos con la concentración de no más de cinco o seis especies frutícolas. A pesar de ambos fenómenos, la diversidad de frutas y nueces o similares son un ejemplo, que tal vez se reproduce algunas lógicas campesinas,

que ve en la diversidad una suerte de seguro contra el riesgo climático o económico. Si se analiza con suficiente detalle la información taxonómica que se brinda en la tabla 8, se advertirá que se cultivan alrededor de cinco órdenes y familias vegetales diferentes y que al menos involucran el manejo de siete especies, con al menos más de un cultivar.

Tabla 8

Taxonomía de los principales cultivos frutícolas y nueces o similares en Ica

Taxa/ Cultivo	Uva	Palta	Mandarina	Tangelo	Naranja	Pecana	Arándano
División	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Clase	Magnliopsida	Magnliopsida	Magnliopsida	Magnliopsida	Magnliopsida	Magnliopsida	Magnliopsida
Subclase		Magnoliidae	Rosidae	Rosidae	Rosidae		
Orden	Vitales	Laurales	Sapindales	Sapindales	Sapindales	Fagales	Ericales
Familia	Vitaceae	Lauraceae	Rutaceae	Rutaceae	Rutaceae	Juglandaceae	Ericaceae
Género	Vitis	Persea	Citrus	Citrus	Citrus	Carya	Vaccinium
Especie	Vinífera L.	Persea americana Miller	reticulata	reticulata	paradisi sinensis	illinoensis	uliginosum

En la figura 6 se ilustra precisamente la diversidad de cultivares que se han reportado para los diferentes distritos agrarios de Ica, tomando en consideración únicamente al cuartil superior de especies frutícolas y nueces o similares que se destinan prioritariamente, más del 80%, al mercado internacional. El cultivo de la vida además de ocupar la mayor superficie y concentrar el 90% de la producción con fines de exportación, es la que alberga el mayor número de cultivares (30 aproximadamente), le sigue en importancia la mandarina, palta y naranja.

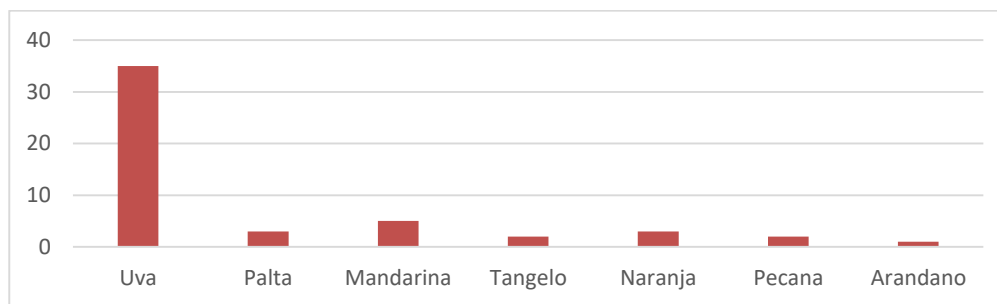


Figura 6. Diversidad genética a nivel varietal del cultivo de frutas y nueces o similares en Ica

Al estimar la heterogeneidad, con fines de explicar la diversidad genética de la agricultura de exportación de Ica, se puede adaptar la ecuación básica de Shannon-Weaver, para estimar el nivel de diversidad en términos ecológicos (Índice Shannon-Winer), que se expresa en: $H' = \sum_{i=1}^S p_i \log 2 p_i$; donde, H' es el nivel de riqueza o de diversidad, en este caso genética, p_i la población de individuos de la variedad i , respecto al total de individuos de todas las especies. Luego p_i es el ratio entre los individuos de la especie i (n_i) y N es el total de individuos del área a evaluar. Por tanto, p_i se estima por: $p_i = \frac{n_i}{N_t}$.

Los resultados de la estimación del índice de riqueza H' se muestran en la tabla 9, donde la vid tiene el más alto índices, seguido de la palta, y la mandarina. Bases más homogéneas, desde el punto de vista genético, son manejadas en el caso del tangelo, pecana y arándano. Aquí se produce un segundo patrón productivo, según el cual, las explotaciones agrícolas con orientación para la agro-exportación, concentran alta diversidad genética en cultivos

con precios atractivos, pero a la vez vulnerable por fluctuaciones mercantiles, sanitarias y climáticas, como es el caso de la vid y en menor grado los cítricos.

Tabla 9

Índice de riqueza relativa de la diversidad genética de cultivares de frutas de exportación en Ica

Parámetro	Uva	Palta	Mandarina	Tangelo	Naranja	Pecana	Arándano
S	35	3	5	2	3	2	1
p_i	0.73	0.12	0.07	0.03	0.04	0.01	0.01
n_i	9,740,000	1,650,000	881,200	382,800	475,000	85,000	75,000
N_i	13,289,000						
H'	11.1200	0.0319	0.0152	0.0011	0.0026	0.0001	0.0000

Una consecuencia del manejo de bases heterogéneas, desde el punto de vista genético, suponen diferentes productividades netas de biomasa, léase rendimiento, y ello se debe a diferenciados parámetros técnico-productivos, tal como se aprecia en la tabla 10. En ella, se observa que la envergadura de los árboles, las dimensiones de las hojas, y las dimensiones y peso de los frutos. Estos aspectos técnicos, tanto de arquitectura de la planta como del fruto influyen en el desempeño de la biomasa primaria o rendimiento que se obtiene por individuo y unidad de superficie.

Tabla 10

Caracteres técnico productivos biométricos de frutas y nueces o similares para Ica-Perú

Caracteres/ Cultivos	Uva	Palta	Mandarina	Tangelo	Mango	Naranja	Pecana	Arándano	Banano
	Planta								
Altura (Max.)	2.4	30.0	2.3	11.0	25.0	10.0	30.0	2.5	7.0
Altura (Min.)	1.4	2.7	1.5	4.0	5.0	5.0	8.0	1.5	2.4
Long. Hoja (cm)	1.5	139.0	7.2	7.0	32.0	6.0	70.0	5.5	180.0
Ancho. Hoja (cm)	8.0	62.0	4.5	3.0	10.0	2.0	40.0	2.5	90.0
	Fruto								
Longitud (cm)	1.8	98.0	7.9	10.4	10.2	7.7	4.5	2.0	30.0
Diámetro (cm)	1.2	54.0	5.6	8.6	13.8	7.4	2.5	1.0	7.0
Relación l/d	1.5	1.8	1.4	1.2	0.7	1.0	1.8	2.0	4.3
Peso (gr)	1.3	152.0	180.6	140.0	251.0	190.0	9.5	2.0	125.0

Tabla 11

Caracteres técnico nutricionales biométricos de frutas y nueces o similares para Ica-Perú

Descripción	Uva		Palta		Mandarina	Tangelo	Naranja	Pecana	Arándano	Promedio	Varianza	Desviación	V. Max	V. Min	Ran-go	CV
	Red globe	Superior Seedles	Hass	Fuerte												
Energía (kal)	90	90	142	104	37	45	36.6	141.9	43,724.5	209.1	691	36.6	654.4	1.4	654.4	1.4
Agua (g)	-	-	79	69.7	-	-	-	78.7	78.3	8.8	87.4	69.7	17.7	0.1	17.7	0.1
Proteínas (g)	1	1	1.7	1.9	-	0.9	-	2.2	9.5	3	9.2	0.3	8.9	1.3	8.9	1.3
Grasa total (g)	1	1	12.5	8.9	-	0.1	-	15.9	780.2	27.9	72	0.1	71.9	1.7	71.9	1.7
Carbohidratos totales (g)	24	24	-	17.1	9	11.2	8.9	15.4	42.3	6.5	24	8.9	15.1	0.4	15.1	0.4
Azúcares (g)	23	23	-	-	-	8.9	-	18.3	66.2	8.1	23	8.9	14.1	0.4	14.1	0.4
Fibra cruda (g)	1	1	5.8	-	1.9	2.3	-	3.3	10.3	3.2	9.6	1	8.6	0.9	8.6	0.9
Calcio (Ca) (mg)	-	-	30.0	11	36	-	41.0	25.2	570.5	23.8	70	-	70	0.9	70	0.9
Hierro (Fe) (mg)	-	-	0.6	0.5	-	-	-	0.6	0.8	0.9	2.5	-	2.5	1.3	2.5	1.3
Magnesio (Mg) (mg)	-	-	-	-	11	-	15.2	38.3	3,053.8	55.2	121	6	115	1.4	115	1.4
Sodio (Na) (mg)	-	-	-	21	-	-	-	11.5	180.5	13.4	21	2	19	1.1	19	1.1
Potasio (K) (mg)	-	-	-	431	185	172	200	245	20,540.8	143.3	431	72	359	0.5	359	0.5
Fosforo (P) (mg)	-	-	67	60	-	-	-	103.5	14,023	118.4	277	10	267	1.1	267	1.1
Vitamina A (Retinol) (ug)	-	-	7.7	-	106.0	-	49	27.5	1,548.5	39.3	106	-	106	1.4	106-	1.4
Vitamina C (mg)	-	-	0.1	3.8	35.0	-	38.7	19.4	410.5	20.2	38.7	0.1	38.6	1.	-	-

Sobre el particular, se ha descrito mucho en la literatura, y se ofrecen modelos matemáticos que tienen como propósito fundamental analizar las cargas inerciales de los vectores genotípicos, fenotípicos o mixtos, bajo la ecuación siguiente, en la cual v_g es la variabilidad atribuible al genotipo, v_f la variabilidad fenotípica, y β los coeficientes de la regresión, bajo el modelo $v_{it} = \beta_0 + \beta_1 v_g + \beta_2 v_f + \beta_3 v_g v_f$, al cual se volverá más adelante.

4. Relación entre divergencia genética, producción, captura de carbono y consumo de agua

Con ayuda de esta expresión se espera construir una ecuación alométrica que explique tanto la conformación de la biomasa y de la producción del fruto en escenarios de elevados consumos de agua y captura de CO₂, por cada cultivar de cada especie de frutas de exportación de Ica, y cuyos modelamiento se aprecian en la tabla 12. De ella se desprende que los cultivares de frutas por unidad de superficie es variable, de ese modo se tiene que la formación de biomasa también es heterogénea, siendo los cultivos de uva y palta los que presentan mayores volúmenes de biomasa por individuo, seguidos por algunos cítricos como tangelo y naranja. Como es lógico, el nivel de captura, que en promedio representa el 50% de la biomasa acumulada sea importante, tanto a nivel de unidad de superficie como por unidad de la tasa anual de captura.

Tabla 12

Captura potencial y tasa anual de captura de carbono en frutas de exportación para el departamento de Ica-Perú

Variables	Unidades	Uva		Palta		Mandarina	Tangelo	Naranja	Pecana	Arándano
		Red globe	Superior Seedles	Hass	Fuerte					
Biomasa planta	Tm/Planta	0.045	0.082	2.684	2.684	0.137	0.366	0.163	0.060	0.0003
Carnono planta	Tm/Planta	0.023	0.041	1.342	1.342	0.069	0.183	0.081	0.030	0.0002
Densidad de plantas	Cantidad	3000	2500	350	380	450	208	200	50	2200
Rendimiento	Tm/ha	34.65	28.17	15.11	17.4	26.67	38.8	8.33	15.65	10.77
Secuestro C	Tm/ha-1	68.24	102.88	469.63	509.88	30.88	38.05	16.29	1.51	0.36
Secuestro C/tasa anual	Tm/ha-1/año	3.41	5.14	11.74	12.75	1.54	1.90	3.26	0.30	0.07

En la tabla 13 se aprecian los componentes de la huella hídrica de los cultivares de frutas de exportación, así como del nivel agua utilizada con el cual ha sido posible estimar los consumos consuntivos por unidad funcional. En este caso, se tiene una primera relación respecto a la relación entre requerimiento de agua y la producción, según la cual el menor nivel de exigencia de agua se da en la uva (7429 m³/ha) y que puede aumentar como es el caso de los cítricos (11167-12284 m³/ha). De este se puede extraer una primera conclusión, que señala que a mayor biomasa y mayor rendimiento, la huella real hídrica aumenta. La segunda relación se da entre a nivel de los consumos, y que en el caso de la uva es 2.48 m³/individuo y en el caso de los cítricos sería de 32.67 a 36.36 m³/individuo. Cabe señalar que la pecana y los arándanos, pueden demandar en promedio por individuo entre 61 y 63 m³/individuo. Por último, debe comentarse que en el contexto de los valles productivos de Ica, el cultivo se realiza únicamente por medio del uso de agua de riego, lo cual implica que la huella verde sea cero, dado el bajo nivel de precipitación y una huella azul elevada, tal como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13

Huella hídrica y consumo de agua para principales frutas de exportación en el departamento de Ica-Perú

Variable	Unidad	Uva	Palta	Mandari na	Tangelo	Naranja	Pecana	Arándano
HH Verde	m ³ /ha	0	0	0	0	0	0	0
HH Azul	m ³ /ha	5258	10129	10635	11167	12284	10,635.45	10,635.45
Req. Hídrico	m ³ /ha	5258	10129	10635	11167	12284	10,635.45	10,635.45
Lám. Bruta	m ³ /ha	7429	12121	12727	13363	14700	12,727.05	12,727.05
Agua Utiliz.	%	70.78	83.57	87.75	93.89	93.98	83.57	70.78
Rendimiento	Tm/ha	34.65	28.17	15.11	17.4	26.67	38.8	8.33
Densidad de plantas	Cantidad	3000	2500	350	380	450	208	200
Consumo de agua/per cápita	m ³ /indiv.	2.48	4.85	36.36	35.17	32.67	61.19	63.64
Consumo de agua/por tm. de producción	m ³ /Tm.prod	151.75	359.59	739.10	721.09	518.02	274.12	1,081.42

Discusión

Si se considera al cultivo, en este caso de frutas de exportación, como un sistema abierto, se podrá plantear un modelo básico, como el que se señala en la figura 7, el cual es útil para entender los límites que han sido considerados al momento de modelar la captura de carbono, así como para estimar la huella hídrica y el consumo per cápita por cultivares y especies. Es decir, que en este trabajo únicamente se expresan valores referido no a toda la cadena productiva sino a uno solo de sus eslabones, es decir, el primario o agrícola. Por tanto, el análisis que se desarrolló con el alcance descrito por Vásquez y et al (2017) y por Dueñas (2017) en lo referente a la captura potencial y la tasa anual de captura de carbono.

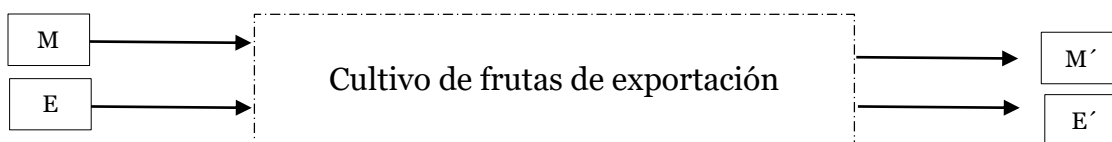


Figura 7. Sistema de cultivo de frutas de exportación (modelo básico)

Iniciemos la discusión, con el telón de fondo que plantea el modelo expuesto, con el agua, dado que es uno de los recursos más importantes que el hombre hace uso de la naturaleza, no solo por la renovada importancia que tiene para la vida (función de sustento), sino como recurso que se incorpora al proceso productivo (función de producción). De ese modo, el agua es vista tanto como un stock como un flujo, que bien podría ser descrito por la expresión $S_t = S_{t-1} + A_t - E_t$, según la cual el stock del futuro depende en extremo de los stocks presentes, sin embargo, en el modelo ejerce influencia en los flujos de entrada o incorporación de nuevas fuentes así como la contribución del agua tratada o recuperada que se incorpora nuevamente a la producción y el consumo (Khan, Malik, Khattak, & Ijaz, 2018). También ejerce una influencia negativa las extracciones, que en la literatura internacional, se denomina como “*water withdrawn*”, al que debe añadirse el nivel de agotamiento del recurso como consecuencia de la contaminación, y que en la teoría dio origen al concepto “*water depletion*” (Mayer, Mubako, & Ruddell, 2016; Wyman, 2013). Ambos conceptos tienen sentido en el caso de un recurso como el agua, que debe ser descrito como uno

potencialmente renovable, dado los niveles de circulación que derivan de la comprensión del ciclo hidrológico (Zingaro, Portoghese, & Giannoccaro, 2017).

En un contexto económico, el agua como factor de producción, léase como recurso natural incorporado al proceso económico, no tiene mucho sentido hablar de tasas de reproducción del recurso, que es la propiedad inherente a los recursos propiamente renovables como el bosque o los peces en un río (Guo, Huang, Ma, Gao, & Wang, 2018). En este caso, es mejor hablar de una tasa de incorporación al stock existente, el cual, como ya se explicó puede provenir de la incorporación de nuevas fuentes agua, especialmente de agua del subsuelo. Por otro lado, no tienen sentido tampoco hablar del agua como un recurso agotable, que sería el caso de los recursos no renovables. El agotamiento del recurso, tal como lo propone Georgescu Roetguen, debe ser entendido como el nivel de entropía con el que retorna el recurso después del ciclo de producción-consumo. Esa es la real dimensión del concepto anglosajón “*water depletion*”, una suerte de agotamiento por efecto de elevados niveles de entropía (contaminación) (Dalín, Wada, Kastner, & Puma, 2017). Nótese que por los resultados obtenidos, la presión sobre la huella hídrica muy alta, dado que solo se dispone de una huella azul porque los niveles de precipitación, que con fines de diseño son cero. En ese sentido, una estrategia básica indicaría que una forma de maximizar la superficie sin afectación ambiental se debería dar en torno del cultivo de uva, y asignar una menor superficie al cultivo de cítricos o palta que tienen elevados niveles de consumo como de huella agregada.

Esta recomendación, que emerge del estudio, tiene asidero en el ámbito de la teoría de la sostenibilidad. Por dos razones, de un lado debe considerar el problema de la heterogénea asignación del recurso como consecuencia de la escasez (Scheierling & Treguer, 2016). La escasez, tradicionalmente es vista como un fenómeno bi-dimensional. De un lado, está la escasez física propiamente asociada a la distribución irregular del recursos en el planeta, y más precisamente en el territorio; por tanto, es un problema espacial (Ridoutt & Pfister, 2010). Y de otro lado, está la escasez económica, que condiciona los usos del agua en función de las utilidades asociadas al acceso al recurso. Según la cual, el acceso está penalizado por los costos que implica habilitar el recurso para un uso o consumo particular.

Un segundo problema está relacionado con el uso del agua, es decir, se deduce de la función de stock que se propuso líneas arriba. Ahora bien, en un contexto de producción, el recurso no tiene relevancia en su condición de flujo (entrada o salida), pero si como un stock en una función de producción del tipo $y = f(K, L, R)$, en esta expresión R representa al recurso agua, y que explica el logro de una unidad equivalente de producto. Aquí, evidentemente caben dos interpretaciones. Una relacionada con los efectos que tiene el stock del recurso involucrado en la producción. Y otro, la elasticidad de uso del recurso, es decir, el efecto que ejerce y asociado a R.

En tercer problema tiene relación directa con el tema el nivel de consumo que realiza una sociedad como consecuencia de su actividad económica, y que dio origen al concepto de “huella ecológica” y partir de ella, las huellas de carbono, hídrica, agrícola, urbana, entre otras (Rushforth & Ruddell, 2018). La huella debe entenderse en un contexto de presión de la sociedad sobre un recurso, el cual será aprovechable en función del límite de su disposición (Salmoral G. , y otros, 2011). Esto es básicamente viable para un recurso no renovable, que se ve limitado el stock de existencias del recurso. Pero en el caso de un recurso potencialmente renovable como el agua, es lógico pensar que la presión ambiental esta explicada por el límite de la entropía, léase contaminación, que será el factor que a la postre, en el largo plazo, limite la disponibilidad del recurso (Vázquez-Rowe, y otros, 2017), esto supone que condicionar el uso del recursos en términos de su huella azul y además una

reconversión de superficies entre cítricos, palta y pecana a favor de la uva, tal como lo señalan nuestros resultados.

De otro lado, está el aporte diferencia que se desprenden de la captura potencial de carbono y consiguientemente de la tasa de captura anual. Según los datos ofrecidos, se debería estimular cultivos de frutas de exportación que generen altas capturas, como es el caso de la palta, mango, pecana y cítricos en menor proporción, dado que existe una correlación positiva entre captura de carbono y biomasa. La fotosíntesis como proceso biosintético indica la posibilidad de convertir una unidad de CO₂ en azúcar a expensas de consumir una unidad equivalente de agua. Esta es una decisión penalizada por el contexto de aridez y escasez hídrica que se comentó en párrafos anteriores. Es decir, si se quiere aumentar los servicios ecosistémicos de la región implicaría sembrar una mayor extensión de palta, mango, o cítricos, lo cual agravaría las condiciones de escasez económica y física del agua, resintiendo la sostenibilidad de una estrategia así planteada.

Conclusiones

Se ha demostrado que existe un nivel de influencia de la diversidad genética, léase divergencia, en los parámetros técnico productivos, consumo de agua y captura de carbono de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación de modo significativo entre especies y no relevante para el caso de variedades dentro de una misma especie. De modo, que el cultivo de uva tiene una menor huella azul, derivados consumos menores tanto por individuo como por unidad métrica de producción. Sin embargo, la tasa de captura de carbono tiene un recorrido inverso, el cual depende de mayores niveles de formación de biomasa, tanto individual como por unidad de superficie, de forma tal, que aumentar una unidad adicional de captura de carbono demanda de mayor consumo de agua, agravando la escasez económica y física del recurso en condiciones de los valles de Ica.

Respecto a la influencia de la diversidad genética, en los parámetros técnico productivos, de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación se han obtenido diferencia levemente significativas en cuanto al tamaño, diámetro, contenido de metabolitos de las diferentes variedades y especies. Las cuales deben ser corroboradas con una evaluación condicional, espejo, de las muestras secundarias o auxiliares que se tomaron en campo.

Se ha determinado que la huella hídrica de los cultivares de frutas peruanas de agro-exportación presenta variaciones importantes a nivel de especies en cuanto al consumo per capita y consumo por unidad métrica de producción, con valores inferiores a $\alpha=0.05$ para la prueba de Mann-Whitney-Willcoxon. Similar conclusión se aprecia para el caso de la influencia de la diversidad genética en la captura de carbono.

Recomendaciones

De los resultados expuestos, se desprenden dos recomendaciones de importancia. Uno primero, avanzar en un diseño factorial para realizar pruebas de composición proximal de frutas de agro-exportación no solo entre especies, sino a nivel de variedades, lo cual implica pasar de un modelo no paramétrico a otro paramétrico. Y el segundo, implica apertura una nueva línea de investigación que correlaciones, con ayuda del concepto de ecoeficiencia para comparar la huella hídrica con la captura anual y potencial de carbono, lo cual describe una escenario de análisis cualitativamente diferente y de interés para el estudio de la sostenibilidad ambiental y la asignación de recursos escasos como agua y tierra, bajo la perspectiva del costo de oportunidad.

Referencias

- ADEX. (2016). *Boletín de agroexportaciones*. Lima: ADEX.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (1989). Agroecología. Projeto Tecnologias Alternativas-FASE. *Ecología política*, 25-35.
- Andrade-Neto, N. C. (2017). *Comparação de variedades de cana-de-açúcar durante a fase de estabelecimento em cultivo irrigado e sequeiro*. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- Banco Mundial. (2006). *Incentivas la innovación agrícola*. Washington: MAYOL.
- Becerra, V., & Paredes, C. (2000). Uso de marcadores bioquímicos y moleculares en estudios de diversidad genética. *Agricultura técnica*, 270-281.
- Bernal-Parra, N., Ocampo-Pérez, J., & Hernández-Fernández, J. (2014). Caracterización y análisis de la variabilidad Genética de la granadilla (*passiflora ligularis juss.*) en colombia empleando marcadores microsatelites. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, 36(3), 598-611.
- Brack, A. (2003). *Frutas del Perú*. Lima: Fondo Editorial Universidad San Martín de Porres.
- Calanzas, B., Rodrigues, P., Lima, F., Esteves, A, Titon, M., & Cunha, J. (2016). Repeatability of physical and chemical characteristics in pequi fruits. *Rev. Bras. Frutic. [online]. 2017, vol.39, n.2 [cited 2017-09-10], e-181. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452017000200801&lng=en&nrm=iso>.*, 1-12.
- Calvet-Mir, L., Garnatje, T., Parada, M., Vallès, J., & Reyes-García, V. (2014). Más allá de la producción de alimentos: los huertos familiares como reservorios de diversidad biocultural. *Agricultura familiar y huertos urbanos. Revista ambiental*, 40-53.
- Campos, C. R. (2014). *Efecto de la fertilización en el rendimiento y características biométricas del cultivo de papa variedad Huayro en la comunidad Aramachay (valle del Mantaro)*. Lima: UNALM.
- Cañas, G., Galindo, L., Arango, R., & Saldamando, C. (2015). Diversidad genética de cultivares en aguacate (*Persea americana*) en Antioquia. Colombia. *Agron. Mesoamericano.*, 129-143.
- Carvalho, A. D., Silva, G. O., & Resende, F. V. (2017). Adaptability and stability of carrot populations by the REML/BLUP method. *Horticultura Brasileira*, 69-74.
- Cruz, C., Carneiro, P., & Regazzi, A. (1994). *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Brasília: UFV.
- Da Col de Brito, S., & De Oliveira e Aguiar, A. (2014). A relação entre o desenvolvimento de produtos verdes e as estratégias ambientais – o caso de uma empresa multinacional do setor de produtos eletroeletrônicos. *Revista de Administração e Inovação* , 287-309.
- Dalin, C., Wada, Y., Kastner, T., & Puma, M. (2017). Groundwater depletion embedded in international food trade. *Nature*, 700-704.
- De Althaus, J. (2007). *La revolución capitalista en el Perú*. Lima: Fondo de Cultura Económica.
- De Resende, M. D. (2007). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Embrapa Informação Tecnológica.*, Colombo: Embrapa Florestas.
- Dueñas, A. (2017). Ecuaciones alométricas para estimar la capacidad de captura de carbono en tres cuencas de la costa central del Perú. *XXI Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos* (págs. 1-14). Cadiz: AEIPRO.
- Dueñas, A., Mendivil, A., Lovanton, G., & Loaiza, A. (1991). Campesinos y papas: a propósito de la variabilidad y erosión genética en comunidades campesinas del Cusco. Seminario Permanente de Investigación Agraria, 4. Iquitos, 20-23 Ago. 1991;. En B.

- Marticorena, *Seminario permanente de investigación agraria*. Iquitos: SEPIA, CBC.
- García-Torres, S., Kahhat, R., & Santa-Cruz, S. (2017). Methodology to characterize and quantify debris generation in residential buildings after seismic events. *Resources, Conservation and Recycling*, 151-159.
- Guo, B., Huang, X., Ma, K., Gao, L., & Wang, Y. (2018). Discussion on water resources value accounting and its application. *Innovative water resources management – understanding and balancing interactions between humankind and nature*, 279–286.
- Harlan, J. R. (1975). *Crop and Man* (Segunda ed.).
- INEI. (2013). *Resultados finales del IV CENAGRO*. Lima: INEI.
- INEI. (2014). *Atlas agropecuario*. Lima: INEI.
- Khan, M., Malik, A., Khattak, M., & Ijaz, N. (2018). Status of Water Table Depths and Water Quality in District Karak, Khyber Pakhtunkhwa Province of Pakistan. *Sarhad Journal of Agriculture*, 282-290.
- La República. (2001). *Atlas departamental del Perú* (Vol. 6). Lima: PEISA.
- Mather, K., & Jinks, J. (1985). *Biometrical genetics. The study of continuous variation*. London: University of Birmingham.
- Mayer, A., Mubako, S., & Ruddell, B. (2016). Developing the greatest Blue Economy: Water productivity, fresh water depletion, and virtual water trade in the Great Lakes basin. *Earth's Future*, 282–297.
- Morillo, A. C., Morillo, Y., Sandoval, P., & Hernando, E. (2014). Caracterización con rams de la colección de durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch existente en la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. *Acta Agronómica*, 63(4).
- Morillo, A., Morillo, Y., Chagüeza, Y., Caicedo, A., Jaramillo, J., Muñoz, O., . . . Muñoz, J. (2009). Caracterización de la diversidad genética en naranja y comparación del polimorfismo de microsatélites amplificados al azar (RAMs) usando electroforesis de poliacrilamida y agarosa. *Acta Agronómica*, 234-244.
- Odum, E. (2002). A Bridge Between Science and Society. En E. Goldsmith, *Ecology – a bridge*.
- Oliveira, I., Atroch, A., Costa, M., Guimaraes, L., & De Oliveira, P. (2017). Seleção de cultivares de milho quanto à produtividade, estabilidade e adaptabilidade no Amazonas. *Pesq. agropec. bras.* [online]. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2017000600455&lng=en&nrm=iso>, 445-63.
- Orduz-Rodríguez, J., Monroy, J., Barrera, S., Núñez, V., & Ligarreto, G. (2012). Caracterización morfo-agronómica y molecular de mandarina 'Arrayana' en el piedemonte del Meta (Colombia). *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 5-12.
- Ortíz, X., Acevedo, X., & Martínez, H. (2002). *Características y estructura de los frutales de exportación en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Piñero, D., Caballero-Mellado, J., Cabrera-Toledo, D., Canteros, C. E., & Casas, A. (2008). La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. *Capital Natural de México*, 437-494.
- Poehlman, J., & Allen, D. (2003). *Mejoramiento genético de las cosechas*. México: Limusa.
- Ponce, L. (2013). *Caracterización de la variabilidad genética del aguacate (Persea Americana Mill) de los valles interandinos del Ecuador*. Sangolquí-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Prom Perú. (2015). *Informe anual. Desembolvimiento agroexportador del Perú*. Lima: Prom Perú.

- Querol, D. (1988). *Recursos genéticos, nuestro tesoro olvidado. Aproximación técnica y socio-económica*. Lima: CELATER.
- Quispe, I., Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Arena, A. P., & Suppen, N. (2016). Preface. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 469-478.
- Ridoutt, B., & Pfister, S. (2010). A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. *Global Environmental Change*, 113–120.
- Rushforth, R., & Ruddell, B. (2018). A spatially detailed blue water footprint of the United States economy. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3007-3032.
- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M., Rodríguez, R., Garrido, A., & Llamas, M. (2011). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir*. Madrid: Fundación Botín.
- Scheierling, S., & Treguer, D. O. (2016). Investing in Adaptation: The Challenge of Responding to Water Scarcity in Irrigated Agriculture. *Economic Review*, 74-100.
- Suso, M. J., Bocci, R., & Chable, V. (2013). La diversidad, una herramienta poderosa para el desarrollo de una agricultura de bajos-insumos. *Revista Ecosistemas*, 10-15.
- Vasquez, I., Torres, J., Cáceres, A., G, L., Quispe, I., & Kahhat, R. (2017). Assessing the magnitude of potential environmental impacts related to water and toxicity in the peruvian hiper-arid coast. *Science of the total environmental*, 532-542.
- Vavilov, N. I. (1951). The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *LWW Journals*, 72(6), 482.
- Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Santillán-Saldívar, J., Quispe, I., & Bentín, M. (2017). Carbon footprint of pomegranate (*Punica granatum*) cultivation in a hyper-arid region in coastal Peru. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 601-617.
- Vázquez-Rowe, I., Torres-García, J., Cáceres, A., Larrea-Gallegos, G., Quispe, I., & Kahhat, K. (2017). Assessing the magnitude of potential environmental impacts related to water and toxicity in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for the cultivation of grapes for pisco production. *Science of the Total Environment*, 532–542.
- Wyman, R. (2013). The Effects of Population on the Depletion of Fresh Water. *Population and development Review*, 687–704.
- Zhang, Y., & Zhifeng, Y. (2007). Eco-efficiency of urban material metabolism: a case study. *Acta Ecológica Sinica*, 3124-3131.
- Zingaro, D., Portoghese, I., & Giannoccaro, G. (2017). Modelling Crop Pattern Changes and Water Resources Exploitation: A Case Study. *Water*, 1-16.