

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE



**PERCEPCIÓN REMOTA EN LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE
CULTIVOS TROPICALES**

Presentada por:

RODRIGO ALCIDES MORALES ARAÚZ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE *DOCTORIS PHILOSOPHIAE*
EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

Lima – Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE

**PERCEPCIÓN REMOTA EN LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE
CULTIVOS TROPICALES**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE

Doctoris Philosophiae (Ph.D.)

Presentada por:

RODRIGO ALCIDES MORALES ARAÚZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Alfredo Rodríguez Delfín
PRESIDENTE

Dr. Percy Zorogastúa Cruz
PATROCINADOR

Ph.D. Salomón Helfgott Lerner
MIEMBRO

Dr. Oscar Ortíz Oblitas
MIEMBRO

Dr. Bruno Zachrisson Salamina
MIEMBRO EXTERNO

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso, mis padres, mi esposa y a mis hijos.

AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D. Roberto Quiroz G., líder de *System Crops and Sciences Division* del Centro Internacional de la Papa (CIP), por brindarme la oportunidad de desarrollar la investigación doctoral, por su permanente apoyo técnico y guía profesional y espiritual.

A los Drs. Percy Zorogastúa C., Patrocinador, Oscar Ortiz O. y Salomón Helfgott L. miembros del Comité Asesor. Sea extensivo a los Drs. Alfredo Rodríguez D., Presidente del Jurado y Bruno Zachrisson S., Miembro Externo. Agradecido por los aportes técnicos.

Un agradecimiento sincero al MgSc. Felipe de Mendiburu, especialista de programación de código abierto, por su apoyo en el manejo de datos experimentales, los análisis estadísticos y su amistad.

Al personal técnico del CIP, responsable de la adquisición y procesamiento de imágenes captadas desde el dron; y por el apoyo en las actividades de campo. Estos son: Hildo Loayza, Mario Balcazar, Susan Palacios, Luis Silva, Jesús Zamalloa y Nikolai Alarcon.

A la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología de Panamá (SENACYT), Subprograma de Excelencia Profesional de Maestría y Doctorado (SENACYT-IFARHU), por otorgar la beca para cursar el estudio doctoral.

Al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), por autorizarnos a obtener esta nueva superación académica.

Al Dr. Alberto Julca O., Coordinador del Programa de Maestría y Doctorado en Agricultura Sustentable y al personal administrativo por su espíritu colaborativo.

Al personal administrativo de la Escuela de Posgrado de la UNALM por el apoyo brindado y su gran amistad.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE DE CUADROS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
INTRODUCCIÓN GENERAL	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN GENERAL	
1. Crecimiento, desarrollo de plantas y predicción de rendimientos	
2. Percepción remota e índices de vegetación	
3. Huella de Carbono	
4. Indicadores sociales relacionados a los drones en la agricultura	
CAPÍTULO I	
DINÁMICA DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS TROPICALES: ANÁLISIS CON IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS DE ALTA RESOLUCIÓN Y DE RENTABILIDAD	1
1.1 RESUMEN	1
1.2 INTRODUCCIÓN	2
1.3 MATERIALES Y MÉTODOS	4
1.3.1 Campo experimental en CIP, La Molina	4
1.3.2 Manejo de cultivos	5
1.3.3 Seguimiento de crecimiento y desarrollo de plantas de maíz, camote y yuca	6
1.3.3.1 Índice de Área foliar (LAI)	6
1.3.3.2 Biomasa, materia seca y parámetros de rendimiento	7
1.3.3.3 Reflectancia espectral remota	8
1.3.3.4 Análisis discriminante de cultivos y uniformidad del suelo	9
1.3.3.5 Costos de producción y análisis financiero	10

	Página
1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
1.4.1 Comportamiento agronómico de los cultivos	12
1.4.2 Características de las plantas detectadas con sensores remotos	16
1.4.3 Discriminación remota de cultivos y la uniformidad del suelo	19
1.4.4 Análisis económico y rentabilidad	23
1.5 CONCLUSIONES	26
CAPÍTULO II	
HUELLA DE CARBONO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN CULTIVOS EN LA COSTA DESÉRTICA PERUANA: COMBINACIÓN DE ENSAYOS DE REFERENCIA, ENCUESTAS EN FINCAS Y MODELOS MATEMÁTICOS	28
2.1 RESUMEN	28
2.2 INTRODUCCIÓN	29
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	33
2.3.1 Ensayo de referencia y datos agronómicos medidos para la entrada del modelo	33
2.3.2 Encuestas a los agricultores de Barranca y Cañete	34
2.3.2.1 Descripción general de las zonas muestreadas y encuestas	34
2.3.2.2 Datos agronómicos obtenidos para la entrada de los modelos	36
2.3.2.3 Modelos matemáticos de estimación de la Huella de Carbono	37
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
2.4.1 Componentes agronómicos, fitosanitarios y rendimientos	40
2.4.1.1 Parcelas de referencia en La Molina y fincas de Barranca y Cañete	40
2.4.2 GEI en unidades agrícolas de maíz, camote y yuca	41
2.4.2.1 Emisiones de GEI por las actividades agrícolas, ensamblaje de los modelos	41
2.4.2.2 Emisiones por el empobrecimiento del suelo (NO ₂), el manejo de estiércol y quema de residuos (CH ₄)	43
2.4.2.3 Estimación de la HC por cultivo a nivel de fincas	45
2.4.2.4 HC total, gasto energético por actividades de cultivos y transporte	46
2.4.3 Estimación del potencial de prácticas de mitigación de la Huella de Carbono	49

	Página
2.5 CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO III	
PERCEPCIÓN DEL FUTURO DE LOS DRONES EN LA AGRICULTURA: ANÁLISIS CUALITATIVO DE UN PANEL DE EXPERTOS AGRÍCOLAS	53
3.1 RESUMEN	53
3.2 INTRODUCCIÓN	54
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS	56
3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
3.4.1 Descripción de usuarios potenciales de los drones	58
3.4.2 Percepción sobre el uso potencial de los drones en la agricultura	58
3.4.3 Futuro de los drones en la agricultura	60
3.4.4 Conformación de una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura	61
3.5 CONCLUSIONES	64
CAPÍTULO IV	
CONCLUSIONES GENERALES	65
CAPÍTULO V	
RECOMENDACIONES	67
CAPÍTULO VI	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

INDICE DE CUADROS

	Página	
Cuadro 1	Coeficientes de correlación del NDVI y SAVI con variables fisiológicas de plantas de maíz, camote y yuca.	16
Cuadro 2	Coeficientes de variación (%) por tamaño de unidades experimentales de maíz, camote y yuca, por reflectancia de las bandas espectrales verde, rojo y NIR.	22
Cuadro 3	Resumen del promedio de componentes de los costos de producción, análisis económico, rentabilidad y puntos de equilibrio de ingresos y unidades de maíz, camote y yuca. La Molina, Cañete y Barranca. Perú (n=100 agricultores).	27
Cuadro 4	Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero que utilizan los modelos CCAFS-MOT y CFT para la estimación de HC en los cultivos de maíz, camote y yuca.	31
Cuadro 5	Zonas de vida, suelos, georeferencia, altura y precipitación de La Molina y localidades de las provincias de Barranca y Cañete. Lima. Perú.	35
Cuadro 6	Caracterización de suelos y temperatura promedio anual de las localidades de La Molina, Barranca y Cañete. Perú.	39
Cuadro 7	Niveles de N, P y K (kg·ha ⁻¹) y fertilizantes aplicados en maíz, camote y yuca. La Molina, Barranca y Cañete, Perú.	39
Cuadro 8	Emisiones de GEI por componente de producción en maíz, camote y yuca, y las respectivas HCs estimadas con los modelos CCAFS-MOT y CFT. Parcelas de referencia en La Molina y fincas de Barranca y Cañete.	42
Cuadro 9	Opciones de estrategias de mitigación de HC en la producción mecanizada de maíz, camote y yuca. Parcelas de referencia en La Molina y fincas de Barranca y Cañete. Perú.	50
Cuadro 10	Clasificación de las variables consideradas en la encuesta aplicada a expertos agrícolas internacionales.	57

INDICE DE FIGURAS

	Página	
Figura 1	Imágenes del espectro visible, multiespectral y procesada con valores del NDVI (izquierda a derecha).	9
Figura 2	Desarrollo fenológico y duración (DDS y °Cd) de las plantas de maíz (A), camote (B) y yuca (C). Temperatura promedio diaria de 21.03 °C. La Molina, Perú.	13
Figura 3	Biomasa acumulada total (izq.) y porcentaje (der.) de hojas, tallos, peso de mazorcas de maíz (A), y raíces de almacenamiento de camote (B) y yuca (C). La Molina.	15
Figura 4	Relación del LAI (izq.), peso seco de mazorca de maíz y de raíces de almacenamiento de camote y yuca (der.); con el NDVI en el tiempo (°Cd).	18
Figura 5	Comportamiento de la altura de plantas de maíz y yuca, con relación al NDVI y SAVI, en el tiempo (orden usual).	19
Figura 6	Modelos de regresión múltiple entre el peso seco de granos de maíz, peso seco de raíces de almacenamiento de camote y yuca con el NDVI, por vuelos del dron.	19
Figura 7	Dispersión de tamaños de parcela experimental por coeficiente de variación (%). Prueba de uniformidad en maíz, camote y yuca. La Molina.	21
Figura 8	Distribución de la edad y organización a la que pertenecen los expertos encuestados.	58
Figura 9	Características del dron y aspectos de apoyo en las actividades del panel de expertos.	59
Figura 10	Percepción de los expertos sobre el futuro de los drones en la agricultura.	61
Figura 11	Percepción de los expertos sobre la conformación de una comunidad de práctica relacionada a los drones en la agricultura.	62
Figura 12	Análisis de correspondencia entre los elementos relacionados a la percepción remota (▲) y el conocimiento de los dispositivos del dron (●).	63

INDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1 Formulario de registro de insumos en general, gastos administrativos y financieros del cultivo de maíz. Perú.	95
ANEXO 2 Formulario de registro de insumos en general, gastos administrativos y financieros del cultivo de camote. Perú.	96
ANEXO 3 Formulario de registro de insumos en general, gastos administrativos y financieros del cultivo de yuca. Perú.	97
ANEXO 4 Costos de producción del cultivo de maíz. CIP, La Molina. Perú.	98
ANEXO 5 Costos de producción del cultivo de maíz. Barranca, Perú.	99
ANEXO 6 Costos de producción del cultivo de maíz. Cañete, Perú.	100
ANEXO 7 Costos de producción del cultivo de camote. CIP, La Molina. Perú.	101
ANEXO 8 Costos de producción del cultivo de camote. Barranca, Perú.	102
ANEXO 9 Costos de producción del cultivo de camote. Cañete, Perú.	103
ANEXO 10 Costos de producción cultivo de yuca. CIP, La Molina. Perú.	104
ANEXO 11 Costos de producción del cultivo de yuca. Barranca, Perú.	105
ANEXO 12 Costos de producción del cultivo de yuca. Cañete, Perú.	106
ANEXO 13 Encuesta digital sobre el uso de los drones en la agricultura.	107

RESUMEN

Los objetivos del proyecto fueron: i) describir la dinámica de desarrollo de plantas de maíz, camote y yuca; ii) estimar la rentabilidad de la producción comercial de los cultivos de maíz, camote y yuca en la costa peruana; iii) evaluar la viabilidad de combinar ensayos de referencia, encuestas de agricultores y modelos de simulación para la estimación de la Huella de Carbono (HC); iv) calcular la HC generada por la implementación de prácticas agronómicas en sistemas mecanizados de cultivo de maíz, camote y yuca; v) evaluar el impacto de las opciones de mitigación simuladas por el modelo CCAFS-MOT para la reducción de la HC de la producción de maíz, camote y yuca en la costa del Perú; y vi) determinar la influencia de la percepción de un panel de expertos agropecuarios sobre el futuro de los drones en la agricultura y la conformación de comunidades de práctica relacionadas a los drones en la agricultura. Se estableció un ensayo de referencia en el CIP, La Molina (diciembre de 2014 a septiembre de 2015). Se estudió el desarrollo fenológico y las relaciones de variables fisiológicas con la reflectancia multispectral -captadas con la Tetracam ADC acoplada al dron Mikrokopter- y con el NDVI y SAVI. Se estimó su rentabilidad, las HC y se identificaron las opciones de mitigación (con los modelos CCAFS-MOT y CFT), comparado con los sistemas de producción de 100 fincas de los tres cultivos en Barranca y Cañete, en la región Lima. Para la evaluación cualitativa de la percepción del uso potencial de los drones se realizó una encuesta digital a un panel de expertos internacionales. En las parcelas de La Molina, la madurez fisiológica en el maíz necesitó de 1637 °Cd. La cosecha de camote se realizó a los 1262.10 °Cd y de yuca a 1723.35 °Cd. La materia seca foliar de maíz, se relacionó con el peso seco de granos ($r=0.90$), el índice de área foliar (LAI) y la altura del maíz y yuca, con el NDVI y SAVI ($p<0.05$). Se determinó la relación negativa del peso seco de mazorcas con el NDVI y SAVI ($p<0.05$). Con la percepción remota se determinó que la cosecha de yuca se puede realizar a los 1527.65 °Cd. En maíz, se puede predecir la cosecha a los 1209 °Cd. Las fincas de camote y maíz en Barranca registraron las mayores HC. En La Molina, se registraron los menores costos totales. Los puntos de equilibrio económico y productivo, resultantes en los tres cultivos, en los tres sitios, evidencian los excelentes ingresos y rendimientos. Las emisiones de CO₂ por el transporte de cosechas, las fincas de maíz en Barranca generaron la mayor HC de 306 kg CO₂eq·Mg⁻¹. Las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) para los tres cultivos fueron la producción de fertilizantes en yuca, en La Molina, con 64 por ciento y su aplicación con 58 por ciento (Barranca). Con las opciones de mitigación se

reducen los GEI, en La Molina, hasta en 49 por ciento. En Barranca y Cañete, hasta en 27 por ciento. Se percibió el conocimiento, la actitud positiva y la habilidad en el manejo de los drones. Se desea de los drones apoyo en la identificación de la sanidad de los cultivos, estimación de áreas de cultivos y la predicción de rendimientos. Se constató el alto uso de medios de comunicación, el gran interés en la capacitación y la conformación de una comunidad de práctica relacionada al uso de los drones en la agricultura. El futuro de la percepción remota en la agricultura se asoció con los conocimientos básicos de los dispositivos del dron, la utilidad en sus trabajos y la preferencia a otras tecnologías. La opinión de conformar una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura, es favorecida por los conocimientos de los dispositivos del dron, el interés en el uso de drones en sus actividades y la capacitación.

Palabras claves: Percepción remota, variabilidad espacial, modelos de desarrollo, Huella de Carbono, mitigación, impactos sociales.

ABSTRACT

The objectives of the project were: i) to describe the development dynamics of maize, sweet potato and cassava plants; ii) estimate the profitability of commercial production of maize, sweet potato and cassava crops in the Peruvian coast; iii) to evaluate the feasibility of combining reference tests, farmer's surveys and simulation models for the estimation of the Carbon Footprint (CF); iv) to calculate the HC generated by the implementation of agronomic practices in mechanized systems of maize, sweet potato and cassava crops; v) to assess the impact of mitigation options simulated by the CCAFS-MOT model for HC reduction of the production of maize, sweet potato and cassava in the Peru coast; and vi) to determine the influence of the perception of a panel of agricultural experts on the future of the drones in agriculture and the formation of communities of practice related to drones in agriculture. A reference trial was established at CIP, La Molina (December 2014 to September 2015). The phenological development and the relationships among physiological variables with the multispectral reflectance -registered with the Tetracam ADC coupled to the Mikrokopter dron- and with the NDVI and SAVI were studied. Profitability was estimated, CF and the mitigation options were assessed (with the CCAFS-MOT and CFT models), compared to production systems of 100 farms of the three crops in Barranca and Cañete, in the Lima region. A digital survey was carried out to a panel of international experts for the qualitative evaluation of the perception of the potential use of the drones. In the plots of La Molina, the physiological maturity in maize needed 1637 °Cd. The sweet potato harvest was conducted at 1262.10 °Cd and cassava at 1723.35 °Cd. The leaf dry matter of maize, was related to the dry weight of grains ($r = 0.90$), leaf area index (LAI) and the height of the maize and cassava, with NDVI and SAVI ($p < 0.05$). As estimated with remotely sensed data cassava harvest can take place at 1527.65 °Cd. In maize, harvest was predicted at 1209 °Cd. Lower total costs were recorded in La Molina. The points of economic and productive balance, resulting in three crops, in the three sites, evidenced excellent income and yields. Sweet potato and maize in Barranca farms recorded the highest CF. CO₂ emissions from crop transport, maize farms in Barranca generated the highest CF of 306 kg CO₂eq·Mg⁻¹. The main sources of greenhouse gas (GHG) emissions for the three crops were cassava fertilizer production in La Molina, with 64 percent and application with 58 percent (Barranca). Mitigation options reduce GHG in La Molina, up to 49 percent. In Barranca and Cañete, up to 27 percent. Knowledge, positive attitude, and the ability in the use of the drones

was perceived. Drones support the identification of crop health, crop area estimation and yield prediction. The high use of the media, the great interest in training and the formation of a community of practice related to the use of drones in agriculture were found. The future of remote sensing in agriculture was associated with the basic knowledge of drone devices, utility in their work and preference for other technologies. The opinion of forming a community of practice on drones in agriculture is favored by knowledge of drone devices, interest in the use of drones in their activities, and training.

Keywords: Remote sensing, spatial variability, development models, Carbon Footprint, mitigation, social impacts.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), camote [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] y yuca (*Manihot esculenta*, Crantz), están considerados entre los ocho primeros cultivos de importancia en el mundo debido a la superficie sembrada, producción, y rendimientos; así como por ser generadores de ingresos y fuente nutritiva (Montaldo 1991; Bolaños 1997; Edmeades et al. 1999; Mejía de Tafur 2002; Tumwegamire y Kapinga 2011). En Perú, estos cultivos son considerados de importancia nacional y regional. El MINAGRI (2014), reportó que el maíz amarillo duro es el segundo cultivo más sembrado con 326532 ha, con tendencia al incremento en el tiempo; por la demanda de la agroindustria nacional de alimentos balanceados para la actividad avícola, porcícola y de animales de engorde. La yuca es el séptimo cultivo de mayor área de siembra con 123197 ha y el camote registró siembras de 15704 ha.

El diseño de políticas de Estado para la producción competitiva de alimentos, requiere mejoras en la precisión de las estadísticas, identificar daños en los cultivos y la estimación de la futura cosecha de cultivos de importancia económica. Sin embargo, en muchos países en vías de desarrollo, los principales métodos convencionales para la estimación del área cultivada por cultivos y la futura cosecha de éstos, se obtienen a través de catastros, cartografías y de inventarios técnicos costosos que no son eficientes ni confiables. Incluso, en las estadísticas oficiales se han subestimado las áreas de cultivos (Zorogastúa et al. 2007). La identificación y medición de la sanidad de los cultivos se puede hacer por los métodos convencionales de evaluaciones por técnicos con experiencias en la identificación de plagas y enfermedades y con imágenes satelitales; pero, con los drones se pueden reducir los costos. Además, la heterogeneidad de la distribución espacial y temporal de los cultivos anuales, conlleva a incrementar el número de muestras y evaluaciones, frecuentemente desfasados en el tiempo.

1. Crecimiento, desarrollo de plantas y predicción de rendimientos

Para la estimación de la productividad primaria de los cultivos anuales es importante el conocimiento de las características fenológicas de todo cultivo, el marco temporal

relacionado al rendimiento y sus componentes (Bolaños y Edmeades 1993c). Condori et al. (2008), indicaron que el análisis integral de los atributos agrofisiológicos y la dinámica de crecimiento y desarrollo, permiten interpretar y describir la forma y funciones de crecimiento. Quiroz et al. (2012), han evaluado modelos matemáticos para estimar el rendimiento potencial de cultivos básicos y los efectos en la producción por limitantes bióticos y abióticos, entre otros.

En el cultivo de maíz, Paliwal (2001) y Turrent (2008), analizaron los componentes de rendimiento en siembras de secano, determinando una relación positiva significativa entre el rendimiento y el número de mazorcas cosechadas por unidad de área y el peso promedio; no así entre rendimiento y plantas cosechadas. En camote, las raíces de almacenamiento siguen un patrón de crecimiento lineal con el tiempo y se determinó la relación entre el crecimiento de las partes vegetativas y el crecimiento de raíces de almacenamiento (Montaldo 1991; Huamán 1992). En el cultivo de yuca, las bases biológicas y fisiológicas para la estimación de rendimiento son difíciles de establecer, debido a la falta de periodos críticos en la producción (Mejía de Tafur 2002). De acuerdo a Ospina et al. (2002), la cosecha de yuca se realiza en forma manual, pasa al proceso de secado, es pesada y solo así se permite medir el rendimiento.

2. Percepción remota e índices de vegetación

La percepción remota permite realizar estudios en el tiempo a partir de una planta hasta sistemas continentales, por medio de la captación de la radiación del espectro electromagnético (Storr 2014). Estos dispositivos revelan una amplia gama de características de las plantas como la biomasa y la eficiencia fotosintética (Bannari et al. 1995), integrando un amplio conjunto de conocimientos y tecnologías utilizadas para la observación, el análisis y la interpretación de fenómenos terrestres. La reflectancia es la propiedad que proporciona información sobre la interacción entre la energía reflejada en una longitud de onda dada de la energía entrante (Rees 2009). Se han diseñado y utilizado modelos de reflectancia de la cobertura vegetal, que utilizan sensores con número y ancho de bandas disponibles, en el cual la clorofila es más sensible a la reflectancia en las regiones espectrales de bandas más estrechas (Kuusk 1998). Lillesand et al. (2004), destacaron el uso de valores de reflectancia basadas en las imágenes en diferentes longitudes de onda visible e infrarroja obtenidas con

la ayuda de equipos proximales y de plataformas aéreas. Son fáciles de aplicar en pequeños campos de cultivo, no requieren de un muestreo destructivo y las mediciones pueden repetirse sobre la misma área de cultivo (Zorogastúa et al. 2007). En las plantas, el proceso fotosintético inicia cuando la luz es absorbida por los pigmentos vegetales (clorofila *a*, *b* y carotenoides). Una fracción de la radiación absorbida es transferida como energía de excitación para el funcionamiento químico y la otra fracción se transmite como calor y energía luminosa (fluorescencia) a la superficie del suelo, y una fracción adicional se refleja al espacio (Colwell 1983; Moreno et al. 2008). El contenido de clorofila es uno de los parámetros fisiológicos utilizados para la discriminación entre plantas, basándose en la diferenciación radiométrica de las clases de cobertura por cultivo (Jensen 1996).

Existe un interés científico en la caracterización cuantitativa de los patrones temporal y espacial de la vegetación, basado en datos obtenidos de sensores remotos (Qi et al. 1994). Los diferentes cultivos tienen distintas firmas espectrales (Jensen 1996; Richards y Jia 1993), que se utilizan para distinguirlos de otra cobertura vegetal, usos de la tierra y cuerpos de agua. Se han desarrollado modelos espectrales e índices de vegetación para mejorar la sensibilidad de la vegetación con relación a la atmósfera y los efectos del suelo (Pearson y Miller 1972; Rouse et al. 1974; Gilabert et al. 1997). Estos propusieron los primeros índices de vegetación, que son combinaciones de dos o más bandas espectrales, que intentan realzar la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de una superficie y atenuar la de otros factores, como el suelo, las condiciones de iluminación y la atmósfera (Jackson et al. 1983). Se destaca el NDVI (acrónimo del español - Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada), que es la diferencia normalizada de las bandas espectrales rojo (R) e infrarrojo cercano (NIR), con rango fijo comprendido de -1 a +1, lo que permite comparar imágenes. Se normalizó para reducir el efecto de la degradación de calibración del sensor y la influencia de los efectos atmosféricos; pero es sensible al suelo sobre el cual crecen las plantas y a las condiciones atmosféricas (Rouse et al. 1974). Por ello, se desarrolló el SAVI (acrónimo del español - Índice de Vegetación Ajustado al Suelo), que integra la relación entre el suelo y la vegetación e incorpora la reflectancia, reduciendo los efectos del suelo y condiciones variables de la vegetación (Huete 1988). La literatura señala alrededor de 22 índices de vegetación obtenidos de datos radiométricos de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Son adquiridos por diferentes sensores proximales y remotos instalados comúnmente desde una plataforma

espacial (Richardson y Wiegand 1977; Clevers 1988; Teillet et al. 1997; Chávez et al. 2009; Chávez et al. 2010).

En los sistemas de producción de los países en vías de desarrollo, el uso de las imágenes satelitales es limitada por los altos costos (imágenes de alta resolución), y por la presencia de nubes que dificulta el registro de imágenes con calidad durante el ciclo biológico de cultivos sembrados en pequeñas parcelas en el tiempo y espacio (Richards y Jia 1993; Lillesand et al. 2004). A su vez, el banco Goldman Sachs (2016), argumentó que en el mundo los drones se están convirtiendo en estratégicas herramientas de negocio. Además, se indicó, que de 2016 a 2020, de los segmentos comerciales con tendencias a un rápido crecimiento, la agricultura contribuirá con 5,900 millones de dólares. Pero, en los países en vías de desarrollo son escasos los dispositivos de alta resolución con bajos costos para la captación de información espectral en pequeños terrenos con cultivos tropicales. Se requiere mejorar las técnicas de interpretación de imágenes e integrar los datos registrados de sensores remotos en diferentes resoluciones espaciales. La percepción remota en la agricultura busca mejorar la capacidad de estimar el crecimiento vegetativo y los rendimientos potenciales con precisión, exactitud y bajo costo. Esta herramienta se integra armónicamente a la agricultura de precisión (por ejemplo, se realizan las aplicaciones –en el tiempo y espacio- de agua, fertilizantes o plaguicidas cuando sean necesarios), aumentando los rendimientos, reduciendo las pérdidas económicas y las contaminaciones por agroquímicos.

3. Huella de Carbono

Se estima que la agricultura contribuye cerca del 10 por ciento a 16 por ciento de las emisiones antropogénicas globales (IPCC 2013). El *World Resources Institute* (2014), informó que las emisiones del sector agrícola en el mundo, en 2013, fueron de 5038.69 MtCO₂eq, de las cuales las emisiones en Perú fueron 23 MtCO₂eq (0.46 por ciento). El IPCC (2013), señaló que, sin políticas adicionales, se espera que las actividades agrícolas aumentarán las emisiones de N₂O del 35 por ciento a 60 por ciento y el CH₄ en un 60 por ciento en 2030. El SEEG Perú (acrónimo del español - Sistema de Estimación de Emisiones de Gases Efecto Invernadero), indicó que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en el sector agrícola nacional, entre 2000 y 2013, -generado por la fermentación entérica, manejo del estiércol, cultivo de arroz, quema de pastizales y residuos agrícolas y

uso de suelos agrícolas-variaron de 23614 a 27006 GgCO₂eq (incremento del 12.56 por ciento). De éstos, el 16 por ciento corresponde a cultivos, 74.1 por ciento a la ganadería y 9.9 por ciento a otras actividades agrícolas.

El Banco Mundial (2010), resaltó que es importante implementar prácticas de manejo con mayor eficiencia energética, ya que la HC calculada por las actividades en la agricultura representan aproximadamente una quinta parte del incremento anual de la temperatura promedio del planeta (Wollenberg et al. 2012; Feliciano et al. 2014). En este escenario, es urgente cuantificar la cantidad de emisiones de CO₂ en los cultivos por unidad de área y rendimientos, utilizando modelos matemáticos de estimación eficientes y fáciles de utilizar (Lal 2004; Hillier et al. 2011b). La estimación de la HC en la agricultura es de gran importancia, ya que es posible implementar estrategias de reducción de emisiones. Schubert (2012), indicó que el aumento de la temperatura por las emisiones de GEI y los cambios en los patrones de lluvia, ya están afectando los sistemas agrícolas de familias de pequeños agricultores. Además, conlleva la proliferación de plagas y la reducción de los rendimientos de los cultivos (Quiroz et al. 2012), situación relacionada al alto uso de agroquímicos que induce la inestabilidad ambiental (Altieri y Nichollson 2000).

4. Indicadores sociales relacionados a los drones en la agricultura

Los impactos son los cambios producidos en los agricultores como resultado de la investigación, la capacitación y la adopción de nuevas tecnologías (Henríquez y Li Pun 2013). Para el logro de los impactos esperados por la implementación de la técnica de percepción remota en cultivos, se debe superar el proceso de participación para vincular los sistemas de conocimiento (Ortiz y Pradel 2009). En los indicadores sociales contemplados en la innovación se considera el nuevo conocimiento, persuasión, decisión y la confirmación para adoptarla. Así como la complejidad de la tecnología, las habilidades requeridas y la actitud en términos de confianza, cooperación, participación y ética (Rogers 1995; Méndez 2006). Es fundamental que los sistemas de innovación eficaces posean la capacidad de establecer relaciones de cooperación entre los clientes y usuarios de la tecnología generada (Hall et al. 2005).

La percepción de los atributos de la innovación es utilizada para predecir la tasa de adopción por los actores de un sistema social intervenido. Es importante analizar las dimensiones del proceso de decisión de la innovación, las categorías de adoptantes y el ritmo de adopción dentro del sistema social (Pérez y Terrón 2004). Por la complejidad de los sistemas agrícolas, es necesario identificar los actores sociales potencialmente relevantes para influir en la innovación (Engel 1997). De los métodos disponibles para coleccionar y analizar información relacionada con los indicadores humanos y sociales se recomienda la consulta a grupos focales (conocidos como panel de expertos), conformado por agricultores, técnicos líderes e investigadores (Dawson et al. 1993; Kitzinger 1995; Chase y Alvarez 2000). Se planteó que el aprendizaje social contempla que un individuo –o grupos de individuos- puede aprender observando la innovación propuesta (Rogers 1995). El aprendizaje permanente es la base para el desarrollo organizacional, conformándose comunidades de práctica. Es decir, grupos de personas que comparten conocimientos, y los problemas similares se abordan en forma interactiva y dinámica (Wenger 2011). La oportunidad de formar una comunidad de práctica sobre los drones, puede proporcionar un nuevo paradigma para el desarrollo e innovación de esta nueva tecnología en la agricultura (conocido como investigación traslacional) (Valdivia et al. 2010).

El proyecto de investigación se planteó el supuesto que las modernas tecnologías descritas son útiles y brindarán confianza a los tomadores de decisión gubernamentales. Al disponer de herramientas eficaces para la recopilación de datos de cultivos, permitirán implementar los instrumentos de planificación, seguimiento y evaluación de los proyectos aplicables al desarrollo de la intensificación sostenible de la agricultura. Por todo lo descrito, el objetivo general del proyecto fue establecer las bases cuantitativas para un sistema de apoyo al desarrollo de la producción sustentable de cultivos tropicales. Para su cumplimiento se trazaron los siguientes objetivos específicos:

- i) Describir la dinámica de desarrollo de plantas de maíz, camote y yuca, basándose en cosechas secuenciales durante el ciclo biológico.
- ii) Estimar la rentabilidad de la producción comercial de los cultivos de maíz, camote y yuca en la costa peruana.
- iii) Evaluar la viabilidad de combinar ensayos de referencia, encuestas de agricultores y modelos de simulación para la estimación de la HC.

- iv) Calcular la HC generada por la implementación de prácticas agronómicas en sistemas mecanizados de cultivo de maíz, camote y yuca
- v) Evaluar el impacto de las opciones de mitigación simuladas por el modelo CCAFS-MOT para la reducción de la HC de la producción de maíz, camote y yuca en la costa del Perú.
- vi) Determinar la influencia de la percepción de un panel de expertos agropecuario sobre el futuro de los drones en la agricultura y la conformación de comunidades de práctica relacionadas a los drones en la agricultura.

La tesis se conformó de tres capítulos, por dimensión de la agricultura sustentable (económica, ambiental y social), redactados en formato de artículos científicos para su futura publicación y para brindar mayor detalle del alcance científico de las investigaciones desarrolladas. El capítulo I, se basó principalmente en el análisis de variables ecofisiológicas obtenidas por muestreos destructivos de plantas de maíz, camote y yuca en La Molina, Perú. Estas variables fueron correlacionadas con valores multiespectrales (verde, rojo e infrarrojo), captados por el sensor remoto Tetracam ADC, acoplado al dron Mikrokopter Okto KL. Este estudio permite estimar por medio del comportamiento en el tiempo, reflectancia de las bandas espectrales verde, rojo e infrarrojo, del NDVI y SAVI, periodos óptimos de cosecha y predicción de la futura cosecha, integrando componentes de rendimientos y tasas de crecimiento, eficiencia de producción de biomasa y traslocación de fotosintatos al producto final de cosecha. La discriminación de cultivos y la determinación del tamaño de las unidades experimentales. Además, el registro de las prácticas de producción desde la preparación de terreno hasta la pos cosecha, permite realizar el análisis económico, estimar la eficiencia operativa y los puntos de equilibrio productivo y económico de los tres cultivos.

En el capítulo 2, se utilizó como referencia el ensayo de La Molina y se comparó con 100 encuestas realizadas a agricultores del sistema mecanizado de maíz, camote y yuca de Barranca y Cañete (costa peruana). Se obtuvo información de suelos, prácticas agronómicas, protección de cultivos, gasto energético, rendimientos, cosecha y transporte de cosechas. Estos datos son utilizados por los modelos matemáticos gratuitos CCAFS-MOT y CFT, para la estimación de GEI por fuentes de emisiones y la HC total por cultivo –por el ensamblaje de ambos modelos- y simular la implementación de prácticas de mitigación sin afectar la producción. En el capítulo 3, se analiza cualitativamente la percepción de un panel de

expertos internacional en el sector agropecuario (Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, Panamá y Perú). Se describe la influencia de la percepción en el uso potencial de los drones en la agricultura, los factores relacionados al futuro de los drones y la conformación de una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones generales para futuras investigaciones y verificación a mayor escala de los resultados obtenidos en las fincas de agricultores.

CAPÍTULO I

DINÁMICA DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE CULTIVOS TROPICALES: ANÁLISIS CON IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS DE ALTA RESOLUCIÓN Y DE RENTABILIDAD

1.1 RESUMEN

Con la percepción remota se analizó la dinámica de desarrollo por fases fenológicas de las plantas de maíz, camote y yuca; así como la determinación de periodos de cosecha y predicción de rendimientos. Se estableció un ensayo en el CIP, La Molina, Perú. Además, se determinó su rentabilidad y de fincas de estos cultivos en Barranca y Cañete. Se encuestaron a 100 agricultores y se obtuvo información de las prácticas de producción y costos totales (CT). En las parcelas de La Molina, se estimó la duración de los eventos fenológicos en grados días ($^{\circ}\text{Cd}$). Se determinó el LAI, la materia seca total aérea (MSTAérea) y de granos de maíz y de raíces de almacenamiento de camote y yuca. Se utilizó la cámara Tetracam ADC acoplada al dron Mikrokopter y de las imágenes multiespectrales se calculó el NDVI y SAVI. Se determinó que la madurez fisiológica en el maíz, se alcanzó a los 1637°Cd . Las cosechas respectivas de camote y yuca se realizaron a los 1262.10 y 1723.35°Cd . La MSTAérea de maíz, se relacionó con el peso seco de granos ($r=0.90$), el LAI y altura del maíz y yuca, con el NDVI y SAVI ($p<0.05$). Se obtuvo la relación negativa del peso seco de mazorcas y el peso seco total, con el NDVI y SAVI ($p<0.05$). En yuca, puede darse inicio a la cosecha a los 1527.65°Cd , con la reducción del NDVI y al mantenerse estable el peso seco de las raíces de almacenamiento. En maíz, a los 1209°Cd , se puede predecir la futura cosecha de granos. Con la reflectancia de las bandas verde, rojo y NIR, es posible discriminar los cultivos y estimar el tamaño de las unidades experimentales. En las parcelas del CIP, se registraron los menores CT. Según el punto de equilibrio económico y productivo, en los tres sitios, se operaron con excelentes ingresos y rendimientos.

Palabras claves: Tiempo termal, NDVI, dron, maíz, camote, yuca

1.2 INTRODUCCIÓN

En los países desarrollados se han utilizado las imágenes satelitales para la elaboración de estadísticas sobre áreas de cultivos, tamaño de las unidades de producción y otros usos en la agricultura (Csornai et al. 2003; Quiroz 2012; Quiroz et al. 2012). Las áreas de producción de los agricultores de los países en vías de desarrollo, se caracterizan por poseer una gran diversidad de cultivos en pequeñas áreas y los instrumentos convencionales de baja precisión para la captación de información agrícola siguen siendo los mismos desde hace más de 50 años. Por lo tanto, la percepción remota se constituye en una herramienta eficiente en la diferenciación de cultivos, seguimiento de la fenología, crecimiento, estimación de rendimientos, sistemas de alerta temprana y otros indicadores de desarrollo de cultivos (Jensen 1996; Rydberg et al. 2007; Zorogastúa et al. 2007; Araus y Cairns 2014; Fahlgren et al. 2015; Cabrera-Bosquet et al. 2016).

Con los sensores remotos se obtiene esta información a través del análisis de la radiación registrada sin estar en contacto con el objeto, superficie o fenómeno (Teillet et al. 1997; Chávez et al. 2009; Rees 2009; Chávez et al. 2010; Storr 2014). Surgen los índices de vegetación, que son reportados para utilizarlos en la estimación de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación; así como la reflectancia del suelo y la vegetación, reduciendo los efectos del suelo de una amplia variabilidad de condiciones de la vegetación (Rouse et al. 1974; Richardson y Wiegand 1977; Jackson et al. 1983; Clevers 1988; Huete 1988). Aunque el uso de estas técnicas es común en los países desarrollados, las aplicaciones en cultivos tropicales que garantizan la seguridad alimentaria de los países en vías de desarrollo son inexistentes o escasos.

Condori et al. (2008), describieron el crecimiento como el proceso donde las plantas aumentan de peso, área o longitud de uno o varios órganos. El desarrollo, como el proceso donde aparecen nuevos órganos, y se describe como la secuencia de eventos fenológicos durante el ciclo biológico de un cultivo. Es necesario el análisis directo de las plantas por fase fenológica de cobertura vegetal, área foliar, contenido de clorofila, biomasa y materia seca en los diferentes órganos de la planta, componentes de rendimiento, y la distribución de asimilados generados por las hojas (Haverkort et al. 1991; Hunt et al. 2002; Hunt 2003; Condori et al. 2008).

La heterogeneidad del suelo, se presenta como una de las mayores limitantes en la implementación de ensayos en terrenos pequeños. Se expresa en una alta variabilidad espacial no atribuible únicamente a los tratamientos estudiados (Asif y Anver 2003; Kavitha 2010). Por lo tanto, para seleccionar el tamaño adecuado de unidad experimental, es importante la caracterización *in situ* de la heterogeneidad del suelo (Gomez y Gomez 1984). En las pruebas de uniformidad se mantienen constante todas las fuentes de variabilidad (por ejemplo, rendimientos), excepto las que se deben al suelo (Pearce 1976). Por otro lado, la literatura reporta sobre la reflectancia registrada por bandas espectrales en superficies específicas. Para la obtención de información de parámetros relacionados a la vegetación y al suelo es mejor analizarlos en el espectro de las bandas espectrales verde (G), rojo (R) e infrarrojo cercano (NIR) (Richards y Jia 1993; Lillesand et al, 2004; Zhang y Kovacs 2012). Son pocos los estudios científicos realizados sobre uniformidad de suelos basados en los valores de reflectancia multiespectral del suelo y vegetación.

Es importante integrar el componente económico, basado en los costos de producción y la estimación del rendimiento comercial, para establecer la rentabilidad por agronegocio estudiado. Con este valor, los agricultores cubren sus costos de producción y con ello, obtienen beneficios económicos. También, le permite implementar estrategias hacia la sustentabilidad en las diversas actividades agrícolas (Romero 1998). El estudio se basó en que la percepción remota con sensores de alta resolución y de bajo costo permite describir, y cuantificar la dinámica de crecimiento y desarrollo de tres cultivos tropicales; así como integrar el análisis de su productividad. Por lo expuesto, los objetivos del estudio fueron: i) describir la dinámica de desarrollo de plantas de maíz, camote y yuca, basándose en cosechas secuenciales durante el ciclo biológico; ii) estimar la rentabilidad de la producción comercial de los cultivos de maíz, camote y yuca en la costa peruana.

1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

1.3.1 CAMPO EXPERIMENTAL EN CIP, LA MOLINA

El ensayo se estableció en el campo experimental del Centro Internacional de la Papa (CIP) en La Molina, Perú. La ubicación correspondió a la Latitud 12°04'36.4" S y Longitud 76°57'01.1" W. El ensayo se estableció el 02 de diciembre de 2014. Las parcelas de maíz se cosecharon el 13 de abril de 2015, de camote el 16 de junio y las de yuca el 03 de septiembre de 2015. La Molina pertenece a la zona de vida Desierto desecado Subtropical, con suelos fluvisol y con altura de 271 msnm (Tossi y Holdridge 1960; ONERN 1970; Gardi et al. 2014).

La caracterización de suelos realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú; reveló que la textura es franco arenoso, con clase textural medio, contenido de Carbono orgánico de 0.50 por ciento, contenido de N de 1.60 por ciento, materia orgánica de 1.06 por ciento, pH de 7.6 y densidad aparente 1.5 g·cm⁻³. La precipitación registrada durante el estudio fue de 11 mm, temperatura promedio diaria de 21.03°C y humedad ambiental de 76 por ciento (SENAMHI 2016).

Por cultivo, se establecieron seis parcelas de 50 m² (10 x 5 m). Las respectivas variedades de los cultivos de maíz, camote y yuca fueron PM-213, Jonathan y Amarilla Criolla. Las parcelas de maíz constaron de siete surcos separados a 0.80 m y la distancia entre plantas fue de 0.20 m (densidad inicial de siembra de 6.25 plantas·m²). Las parcelas de camote con siete surcos separados a 0.80 m y 0.30 m entre plantas provenientes de esquejes certificados del CIP (4.2 plantas·m²). En maíz y camote la unidad experimental fue de 8 m² (unidad básica de muestreo de 0.71 m²). Las parcelas de yuca constaron de seis surcos separados a 1 m, con densidad de siembra de 1.0 plantas·m². La unidad experimental fue de 10 m² (unidad básica de muestreo de 0.75 m²). Las estacas semillas fueron de 0.20 m de longitud (6 a 8 brotes), colocadas en posición horizontal al fondo del surco.

1.3.2 MANEJO DE CULTIVOS

La fertilización se basó en los requerimientos del cultivo y en el análisis físico-químico de suelos. Por lo tanto; en el cultivo de maíz se aplicó -por hectárea- 210 kg de N, 60 kg de P₂O₅ y 40 kg de K₂O. Las fuentes de fertilizantes aplicados fueron la Urea y el 20-20-20. En camote se aplicó 105.2 kg de N, 50 kg de P₂O₅ y 87 kg de K₂O; los fertilizantes utilizados fueron Urea, 20-20-20 y KCl. En yuca se aplicó 80 kg de N, 120 kg de P₂O₅ y 125 kg de K₂O por hectárea. Los fertilizantes utilizados fueron 40-60-20 y KCl. En los cultivos de maíz y yuca se realizaron las siguientes operaciones mecánicas de laboreo del suelo: un pase de arado, uno de rastra, el surcado para la siembra y tres aporques para la incorporación de fertilizantes. En camote solo se realizó la preparación mecánica de suelos que consistió de un pase de arado, dos de rastra y el surcado de terreno. Todos estos implementos agrícolas fueron acoplados a un tractor con motor diésel.

La dotación de agua por riego de gravedad se realizó por medio de una bomba eléctrica de 30 HP. Durante todo el ciclo del cultivo de maíz se aplicó 6500 m³, en camote 2000 m³ y en yuca 7000 m³. Para el control químico de las plagas del maíz, [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] y *Heliothis zea* (Boddie), se realizaron cinco aplicaciones de insecticidas. En camote para el control de las plagas foliares *Prodenia* (= *Spodoptera*) *eridania* (Cramer) y áfidos se realizaron 10 aplicaciones de insecticidas. En las parcelas de yuca se presentaron las plagas *Erinnyis ello* (L), *Tetranychus* sp. y *Trialeurodes* spp. Para su control se realizaron seis aplicaciones de insecticidas-acaricidas.

El manejo de plagas se basó en el diagnóstico y los respectivos umbrales poblacionales de acción, por etapa fenológica de los cultivos estudiados (Clark y Moyer 1988; Hillocks et al. 2002; Agrios 2005; MINAGRI 2014). Asimismo, el manejo agronómico y fitosanitario implementado en las parcelas experimentales fue generado y validado para la costa peruana con clima desierto árido, lo cual permitió la expresión del potencial de rendimientos (Manrique et al. 1993; Ames et al. 1997; Thomas et al. 2006; Lebot 2009).

1.3.3 SEGUIMIENTO DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE PLANTAS DE MAÍZ, CAMOTE Y YUCA

Se evaluó la dinámica del comportamiento fisiológico de cultivos de maíz, camote y yuca bajo las condiciones ambientales y climatológicas en que se desarrolló el estudio. Diariamente se registraron los datos meteorológicos (temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa y precipitación). Durante todo el ciclo biológico de los cultivos, se realizaron evaluaciones semanales a las plantas por parcelas, registrándose las diversas fases fenológicas o eventos cardinales (Edmeades et al. 1992). El avance a cada evento fenológico son expresados en días cronológicos y Tiempo Termal (TT) o grado centígrado día ($^{\circ}\text{Cd}$). Para el cálculo del TT se utilizó la siguiente ecuación: $\text{TT}=(T_{\text{max}}+T_{\text{min}})/2-T_{\text{base}}$. La temperatura base (T_{base}), utilizada en maíz fue 10°C , en camote 16°C y en yuca se utilizó 15°C (Edmeades et al. 1999; Yan y Hunt 1999; Villordon et al. 2009a, 2009b; Burgos et al. 2013).

En las parcelas de maíz, por muestreo, se seleccionaron al azar tres plantas de los surcos 2 y 6 (total 6 plantas de maíz por muestreo) y en las parcelas de camote se seleccionaron cuatro plantas de los surcos 2 y 6. En estos cultivos, por surco, se conformaron 10 grupos o unidades de muestreo y evaluaciones. En yuca se seleccionó una planta por muestreo, alternando únicamente los surcos 2 y 5 (constó de 11 unidades de muestreo por surco). En las parcelas de maíz se realizaron seis muestreos o cosechas secuenciales, en camote ocho muestreos y en yuca 13. A cada planta muestreada se separaron las hojas y tallos para estimar los siguientes parámetros:

1.3.3.1 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI)

Con todas las hojas separadas de cada planta, se calculó el área foliar implementándose el protocolo del programa gratuito, ImageJ (Schneider et al. 2012). Los resultados fueron la base para el cálculo del LAI, que es la unidad de superficie de hoja verde que posee una planta por unidad de superficie de terreno. Permite estimar la capacidad de fotosíntesis de las plantas y estimó con precisión la capacidad de captura de luz de un dosel vegetal (Parry et al. 2011). Es una variable útil para estudiar los procesos fisiológicos de plantas y para

caracterizar la vegetación. Por lo tanto, el LAI se utilizó para cuantificar el crecimiento y rendimiento agronómico de los cultivos (Wang et al. 2005). Se calculó por medio de la ecuación:

$$LAI = \left(\frac{AF}{NP} \right) * DP / 100 \cdot dm^2$$

Donde:

AF= Área foliar (dm²) del número de plantas muestreadas

NP= Número de plantas muestreadas (dm²)

DP= Número de plantas·m⁻²

1.3.3.2 BIOMASA, MATERIA SECA Y PARÁMETROS DE RENDIMIENTO

Las hojas y tallos de cada planta muestreada fueron pesados por separados, constituyéndose en la biomasa aérea. Al verificarse las etapas fenológicas de reproducción y producción por cultivo, se consideraron los órganos reproductivos y de producción. Esto es espigas y mazorcas en maíz; en camote y yuca las raíces de almacenamiento. Para calcular la materia seca, se pesaron por separado los órganos frescos y se secaron en un horno a 70°C hasta peso constante (Monteith 1994). Las cosechas de los cultivos se realizaron manualmente. Los rendimientos promedios de grano en las parcelas de maíz se utilizaron para calcular el rendimiento comercial a 14 por ciento de humedad en Mg·ha⁻¹ (Bolaños y Barreto 1991). Se calcularon e integraron los siguientes componentes estándares del rendimiento comercial (Bänzinger et al. 2000; Monneveux et al. 2008): i) número de mazorcas por plantas (EEP), ii) granos por mazorca (GPE); y iii) peso por grano (WPG): $GY = Plantas \cdot ha^{-1} * EEP * GPE * WGP$. El contenido de materia seca de los granos de maíz cosechados se determinó con el Burrow digital moisture computer-700 (Burrows Seedburo Equipment Co., Chicago, IL.) (Zinner y Sinclair 1982; Hurburgh et al. 1985). En camote y yuca se registró el peso fresco y seco de raíces de almacenamiento (Mg·ha⁻¹). En cada cultivo el índice de cosecha (IC) se determinó por la relación del rendimiento seco de granos de maíz, y pesos secos de raíces de almacenamiento (gramos por planta) entre la materia seca total (g) (Bhagsari 1990; Kawano 1990; Hay 1995; Bänzinger et al. 2000; Condori et al. 2008).

1.3.3.3 REFLECTANCIA ESPECTRAL REMOTA

Para la captación de imágenes y su reflectancia por percepción remota se utilizó el dron Mikrokopter modelo Okto KL. Es liviano (2.5 kg), autónomo, con ocho hélices rotatorias, con despegue y aterrizaje vertical (realizado por el *software* WooKong-M) y de costos medios. Al Mikrokopter se adaptó un soporte para las baterías Li-Po de 5000 mAh y los siguientes sensores: 1) cámara multiespectrales digital agrícola Tetracam ADC (Devonshire, Chatsworth, CA, USA). Posee un lente focal de 8 mm, con precisión de 3.2 megapíxeles (2048 x 1536 píxeles). Captó la reflectancia de las bandas espectrales G, R y NIR (longitudes de onda de entre 520 a 920 nm), que corresponden a las bandas TM2, TM3 y TM4 de una imagen del satélite LANDSAT TM; y 2) cámara réflex Canon® EOS Digital Rebel XTi, de 10.1 megapíxeles.

El dron posee la capacidad de adaptar las conexiones para el disparo remoto. Se utilizaron programas especializados de cómputo (gratuitos) para realizar la planificación, evaluación y ajustes de los vuelos del dron y del sistema GPS (complementado con las coordenadas geográficas del terreno del ensayo registradas previamente por un equipo de estación total). Para el procesamiento de las imágenes multiespectrales registradas, se utilizó el *software* propiedad de Tetracam Inc. Se determinó que, por vuelo, un solo punto (*waypoint*) fue adecuado para captar una sola imagen de todo el ensayo en el tiempo y se procedió a introducir la coordenada respectiva. La altura de vuelo del dron con la Tetracam ADC fue a 80 m de altura (resolución espacial de 5 cm) y con la cámara Canon® a 50 m. En este proceso se distribuyeron en el terreno cinco marcos de referencia (con dimensiones de 0.50 m x 0.50 m), como puntos de apoyo para la georreferenciación de cada imagen. En cada vuelo se calibró el sensor de la Tetracam ADC para evitar la saturación de las imágenes. El despegue del dron y el aterrizaje se realizó en forma manual y mediante el piloto automático siguió el *waypoint* programado. Sobre las parcelas de maíz se realizaron 18 vuelos, en camote 27 y en yuca 38 vuelos. El primer vuelo se realizó a los 16 días después de la siembra de los cultivos por parcelas.

Luego de registradas las imágenes, se descargaron los archivos, se implementaron los procedimientos de procesado y corrección de las mismas (telemetría del dron) y se crearon

archivos digitales en formato TIFF (*Tagged Image File Format*). De las imágenes procesadas por parcela experimental de maíz y camote; se conformaron 70 unidades de análisis de 250 píxeles, de las cuales se utilizó el promedio de reflectancia de las bandas espectrales de G, R y NIR (Figura 1). En total se conformó una matriz de 420 unidades por cultivo. En yuca, por parcela se conformaron 66 unidades de análisis, con similar cantidad y promedio de píxeles (la matriz total constó de 396 unidades). La información contenida en las imágenes registradas por la Tetracam ADC, durante todo el ciclo biológico de los cultivos, fueron utilizadas para el análisis de reflectancia por banda espectral y para el cálculo del NDVI y SAVI. Para el cálculo de estos índices se combinó la reflectancia del R y NIR; así: $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ (Tucker 1979; Bannari et al. 1995; Kuusk 1998) y $SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} (1 + L)$. Donde L es el factor de ajuste de suelo (0.5) (Huete 1988). Con los datos agronómicos registrados en las diversas etapas fenológicas de los cultivos de maíz, camote y yuca se realizaron análisis de correlación lineal y múltiple (coeficiente de Spearman, $pvalue < 0.05$), entre los índices de vegetación estimados. Se utilizó la función `correlación()` de *Agricolae* de R.

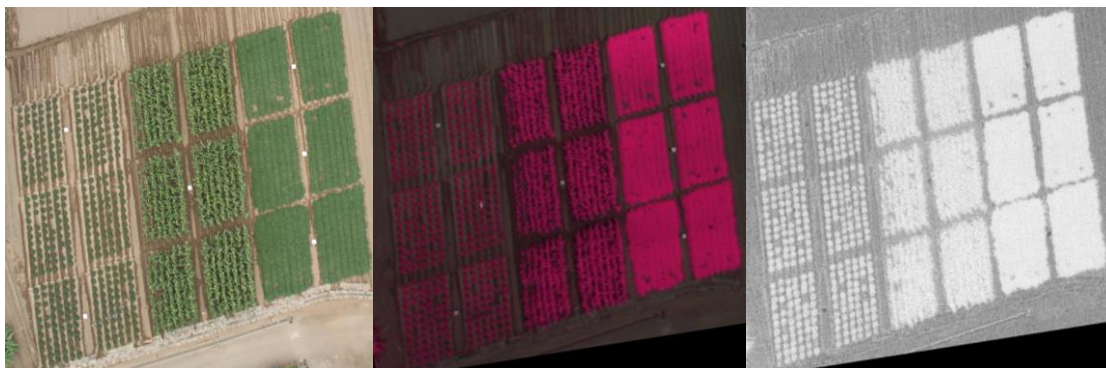


Figura 1: Imágenes del espectro visible, multiespectral y procesada con valores del NDVI (izquierda a derecha).

1.3.3.4 ANÁLISIS DISCRIMINANTE DE CULTIVOS Y UNIFORMIDAD DEL SUELO

La diferenciación de los cultivos se basó en la reflectancia de las bandas espectrales G, R y NIR captadas por la Tetracam ADC durante todo el ciclo biológico de los cultivos y de los valores del NDVI y SAVI. Se aplicó el análisis multivariado para la selección de las variables más importantes que permitieron discriminar los cultivos. Inicialmente, se seleccionaron al

azar las variables y las secuencias con mayor criterio de clasificación y dependencia. Posteriormente, por el análisis discriminante, a las variables que fueron consideradas en el proceso de clasificación, se determinó el error aparente y el error aparente de la validación cruzada (Venables y Ripley 2002; Genuer et al. 2010, 2015). Se utilizaron los paquetes estadísticos *Random Forests* VSURF() y *lda*() del programa R (de Mendiburu 2016).

Para determinar el tamaño de la unidad experimental para este tipo de ensayos, se estudió la heterogeneidad del suelo por el índice de Smith (Smith 1938). Este factor está muy relacionado al tamaño adecuado de la unidad básica experimental (Gomez y Gomez 1984). Los datos corresponden a una matriz conformada por los valores de reflectancia de las bandas G, R y NIR, obtenidos de las imágenes de las parcelas por cultivo, con las plantas de maíz y yuca recién germinadas (185.10 y 100.10 °Cd, respectivamente), en la emisión de guías de camote (83.10 °Cd), y con los valores máximos de NDVI. Todos los valores fueron agrupados por el tamaño de las unidades de muestreo por cultivo, descritas anteriormente. Se calculó el coeficiente de variación [CV (%)], para cada forma y tamaño de unidades experimentales, obtenidas por la combinación de las unidades básicas de muestreo (Gomez y Gomez 1984). Se elaboró un gráfico de dispersión de tamaños de parcelas por CV, y se utilizó la línea de tipo potencial, cuya tendencia fue la que mejor se ajustó a los datos (Smith 1938). La uniformidad de suelo se analizó con la función *index.smith*() del programa R.

1.3.3.5 COSTOS DE PRODUCCIÓN Y ANÁLISIS FINANCIERO

El ensayo en el CIP La Molina, fue utilizado como referencia para evaluar los datos obtenidos por encuestas a agricultores de maíz, camote y yuca. Estas se realizaron en el periodo noviembre de 2015 a enero de 2016, en las provincias de Barranca y Cañete. Se encuestaron a 100 agricultores del sistema de producción mecanizado de maíz (36), camote (30) y yuca (34), con error de la muestra de 9.8 por ciento de una población finita (Cochran 1977). En las provincias de Barranca se encuestaron agricultores de las localidades de La Campiña de Supe, Arguay, San José de Pativilca y el Centro Poblado Santa Elena Norte y Sur. En la provincia de Cañete en las localidades de Hualcará, Herbay y el Centro Poblado Menor de Unanue, de San Vicente. Las encuestas consistieron de un formato específico para calcular los costos directos o variables (ANEXOS 1, 2 y 3). Para ello, se registró los gastos

por cultivo que incluye la preparación de suelos, adquisición y manejo de semillas, manejo de agua para riego, aplicaciones de agroquímicos en general (fertilizantes y productos fitosanitarios). Se consideró un imprevisto de 5 por ciento. La información obtenida de las encuestas fue utilizada para la estimación de la HC en el capítulo II.

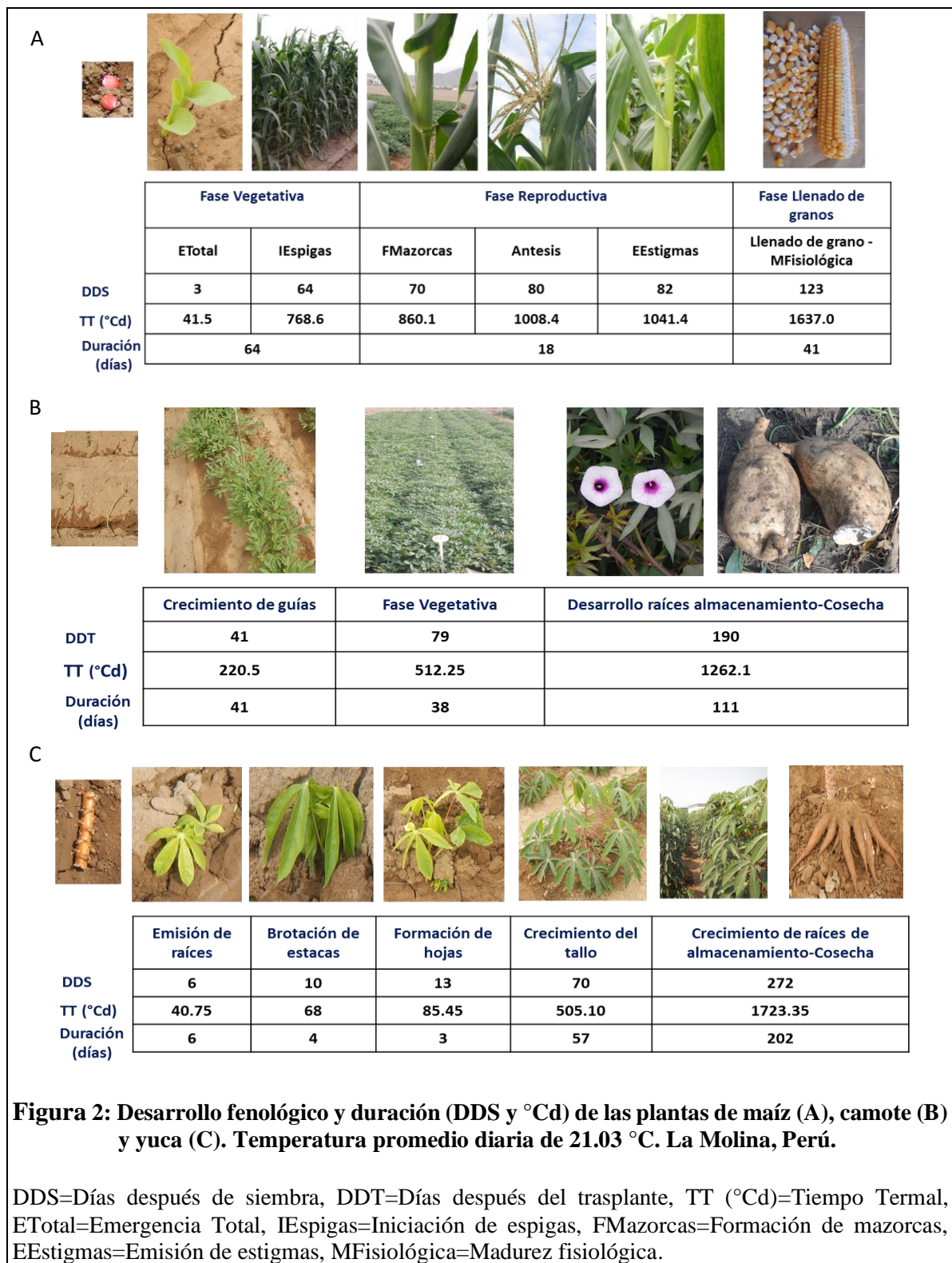
Los costos indirectos o fijos (CF), se conformó por el alquiler de terrenos, asistencia técnica y los gastos financieros (2 por ciento y 5 por ciento del gasto por cultivo; respectivamente), y gastos administrativos (5 por ciento de los costos directos). Estos datos fueron la base para el cálculo del costo variable unitario (CVU) y totales ($CT = \text{Costos Variables} + \text{Costos Fijos}$). Se realizó el análisis económico y la rentabilidad de cada cultivo, basándose en los beneficios netos (BN) y CT. Se calculó el índice de rentabilidad o eficiencia operativa (IR) [$IR = (BN/CT) * 100$]. También se calculó el punto de equilibrio (PE) de ingresos y unidades de venta, integrando los CF, CVU y el precio de venta unitario (PVU). Las ecuaciones utilizadas fueron $PE_{\text{Ingresos}} = CF / (1 - CVU/PVU)$ y $PE_{\text{Unidades}} = CF / (PVU - CVU)$ (Sánchez 2002). No se presentaron problemas para registrar los conocimientos de los agricultores sobre el manejo de los cultivos, los rendimientos, los costos unitarios de labores agrícolas e insumos utilizados y precio de ventas en fincas. La información fue verificada con la base de datos oficiales del MINAGRI (2014).

1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.4.1 COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE LOS CULTIVOS

El rendimiento promedio obtenido en las parcelas de maíz fue de $11.35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. El peso seco de raíces de almacenamientos de camote fue de $3.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (24.04 por ciento de materia seca acumulada) y $11.8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de materia seca de follaje ($39.1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biomasa). El rendimiento promedio fresco de raíces de almacenamiento de yuca fue de $38.86 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (peso seco de $11.34 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), coincidentes con los rendimientos obtenidos por la variedad Amarilla en Argentina (Burgos et al. 2013). Los IC resultantes en maíz, camote y yuca fueron de 0.47, 0.27 y 0.63; respectivamente. La yuca es altamente productiva ya que, del contenido total de biomasa, la mayor proporción se distribuye a la producción de raíces de almacenamiento. En la variedad de camote Jonathan el IC fue bajo, considerándose una variedad de doble propósito (consumo humano y animal). Estos resultados coinciden con reportes en Colombia y en los sistemas de selva y costa de Perú (Tique et al. 2009; Reynoso 2003). El contenido de materia seca aérea (tallo y hojas) fue la única variable que se relacionó con los rendimientos de los cultivos. En maíz con el peso seco de granos ($r=0.90$, $p<0.05$).

En el seguimiento del desarrollo de las plantas de maíz se enfatizó en las siguientes fases de desarrollo fenológico (Edmeades et al. 1992): 1) fase vegetativa. Comprende los eventos cardinales de la emergencia del coleóptilo de las plantas sembradas sobre la superficie del suelo, que se verificó a los 3 días después de siembra (DDS) o $41.5 \text{ }^\circ\text{Cd}$. El periodo de iniciación de hojas sucesivas (plastocrón), hasta la formación completa de hojas, se obtuvo a los 10 DDS ($123 \text{ }^\circ\text{Cd}$). Esta fase finaliza con la iniciación de la inflorescencia masculina (espigas), a los 64 DDS o $768.6 \text{ }^\circ\text{Cd}$; 2) fase reproductiva. Esta fase de formación de la mazorca o inflorescencia femenina, inició a los 70 DDS ($860.10 \text{ }^\circ\text{Cd}$). La antesis, donde se verificó la máxima emisión de polen, ocurrió dos días antes que la emisión de estigmas de las flores femeninas, con 1008.4 a $1041.4 \text{ }^\circ\text{Cd}$; respectivamente (Figura 2)



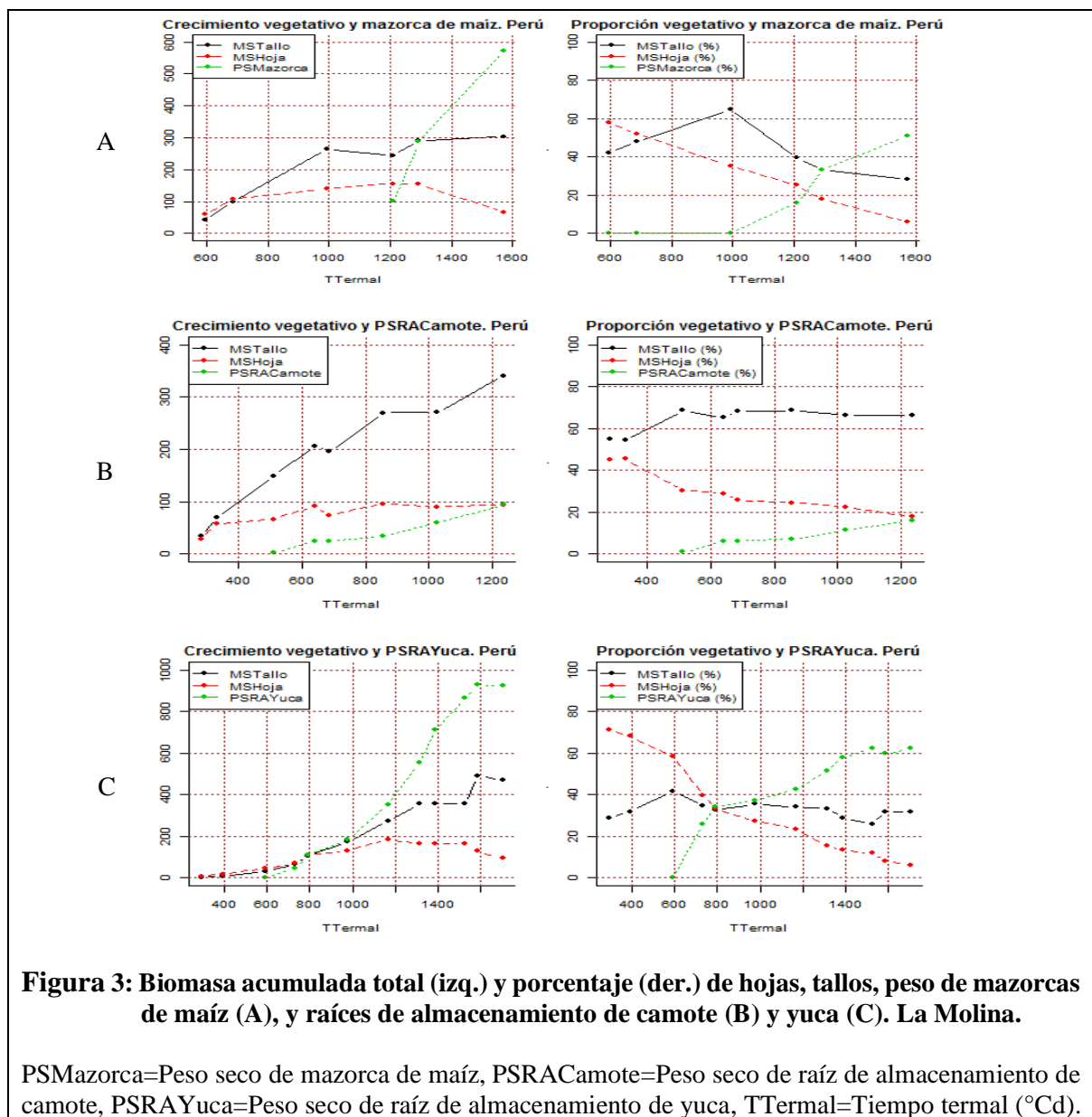
También se registró la máxima altura de plantas de maíz de la variedad PM-213, con promedio de 1.84 m y produjo un promedio de 17 hojas; y 3) fase de llenado de granos. Inició desde la polinización, pasando por diversos estados del grano (ampolla, lechoso, masa blanda y dura), hasta la madurez fisiológica que se verificó a los 123 DDS (1637 °Cd). En

este estado del grano, la capa de almidón duro avanza hasta la zona de unión del grano (región placentaria) con la coronta (también conocida como tusa), finalizando el crecimiento de los granos. Se hace visible un punto o película de color negro en la base del grano. Desde la fertilización hasta la madurez fisiológica de granos se requirió 595.6 °Cd, utilizando 580.75 °Cd desde la iniciación de granos hasta la madurez fisiológica. O sea, para el llenado de granos de la variedad PM-213, se utilizó el 35.3 por ciento del TT total del ciclo biológico. En este momento, el contenido promedio de humedad del follaje (tallos y hojas) y granos fue de 63 por ciento y 34 por ciento, respectivamente. En esta fase se determina el peso final del grano (Bolaños y Edmeades, 1993c). La cosecha se realizó a los 132 DDS (1759.75 °Cd). Estos resultados coinciden con los reportes de literatura (Ritchie y Hanway 1984; Brooking 1990; Turrent 2008; Yzarra et al. 2009; Gordón 2001).

En camote (Figura 2), las fases fenológicas vegetativas, descritas por Onwueme y Charles (1994), son diferentes en comparación con otros cultivos: 1) crecimiento de raíces fibrosas y de guías. La duración del máximo crecimiento de guías requirió de 41 días después del trasplante (DDT) o 220.5 °Cd; 2) la fase vegetativa, que comprende desde el rápido crecimiento de guías con gran formación de biomasa aérea, el inicio de la formación de raíces de almacenamiento, hasta el máximo desarrollo foliar. Para estos eventos se registró 38 días (79 DDT o 512.25 °Cd); y 3) la fase de desarrollo de raíces de almacenamiento con poco crecimiento de guías y raíces fibrosas y el área foliar se mantuvo constante y luego disminuyó hasta la cosecha. El periodo fue de 111 días o 749.85 °Cd. La duración del ciclo biológico desde el trasplante hasta la cosecha fue de 190 días (1262.10 °Cd). Estos resultados contrastan con los reportados por Villordon (2009), quien propuso programar las cosechas de camote a los 2600 °Cd; pero, con temperatura máxima ambiental diaria de 32.05 °C.

En el desarrollo de órganos vegetativos de plantas de yuca (Figura 2), se distinguen las siguientes fases fenológicas (Noval et al. 1999): 1) emisión de raíces en las estacas y que se inició a los 6 DDS (40.75 °Cd); 2) brotación de estacas -al emerger la primera hoja extendida sobre la superficie del suelo- se registró a los 10 DDS (68 °Cd); 3) formación de hojas y del sistema radicular. Se consideró como inicio de esta fase la aparición de la segunda hoja expandida sobre la superficie -13 DDS o 85.45 °Cd- y las hojas sucesivas; 4) crecimiento del tallo por el alargamiento del entrenudo inferior hasta 2 cm de altura. Este evento verificado a los 70 DDS necesitó de 505.10 °Cd; y 5) crecimiento de raíces de

almacenamiento y desarrollo foliar. A los 79 DDS o 592.25 °Cd se evidenció la diferenciación y el engrosamiento de raíces de almacenamiento. A los 97 DDS (760.2 °Cd), las plantas de yuca de forma erecta y sin ramificación, alcanzaron su máximo crecimiento con una altura promedio de 2.10 m. Al observarse la senescencia foliar se procedió a la cosecha que ocurrió a los 272 DDS o 1723.35 °Cd. La duración de las fases fenológicas descritas, coinciden con el reporte de Burgos et al. (2013). Sin embargo, estos autores difieren con el TT requerido de siembra a cosecha en las condiciones de La Molina (la cosecha en Argentina se realizó a los 280 DDS o 2096 °Cd, con temperatura promedio de 21.15 °C).



En términos generales, el periodo de la distribución de asimilados hacia los granos de maíz (82 DDS o 1041.4 °Cd), presentan una leve diferencia comparado a la traslocación hacia las raíces de almacenamiento de camote y yuca con 512.25 °Cd (79 DDT) y 592.25 °Cd (79 DDS), respectivamente (Figura 3). Sin embargo, en esta fase las hojas de las plantas de yuca conforman la mayor proporción con 58.3 por ciento. En maíz y camote, fueron de 35.3 por ciento y 30.5 por ciento, respectivamente. En esta figura, en las plantas de maíz a los 1209 °Cd (94 DDS), la proporción respectiva de hojas y la materia seca de mazorcas fue de 25.3 por ciento y 15.8 por ciento. Este proceso de inversión proporcional de la biomasa de las hojas hacia los granos de maíz, las raíces de almacenamiento de camote y yuca fue sostenido hasta la cosecha. En las primeras tres fases fenológicas de las plantas de yuca, el desarrollo de brotes y hojas es dominante y parece tener preferencia sobre el crecimiento de tallos y raíces de almacenamiento. En maíz y camote, durante las primeras fases vegetativas, la prioridad fue hacia el desarrollo foliar (doble proporción de tallos); por lo que se compete con los fotosintatos por la producción final de granos y raíces de almacenamiento.

Cuadro 1: Coeficientes de correlación del NDVI y SAVI con variables fisiológicas de plantas de maíz, camote y yuca.

Variables	Maíz		Camote		Yuca	
	NDVI	SAVI	NDVI	SAVI	NDVI	SAVI
LAI	0.62	0.58	0.42	0.44	0.75	0.69
MSTAérea	0.24	0.21	0.46	0.50	0.51	0.39
PSMazorca	-0.80	-0.75				
PSecoTotal	-0.78	-0.72	0.49	0.54	0.36	0.27
Altura	0.75	0.72			0.88	0.84

LAI=Índice de Área Foliar, MSTAérea=Materia seca total aérea, PSMazorca=Peso seco de mazorca, PSecoTotal=Peso seco total.

1.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS DETECTADAS CON SENSORES REMOTOS

Las correlaciones en algunas variables fisiológicas de maíz, camote y yuca, con los valores de NDVI corresponden a los promedios de pixeles relacionados a las unidades de muestreos (Cuadro 1). Los valores obtenidos del LAI correlacionó con los índices de vegetación en los

tres cultivos. La relación del peso seco de mazorcas (PSMazorca), con el NDVI y SAVI fue negativa con $r=-0.80$ y -0.75 ; respectivamente. Esta correlación negativa también se obtuvo entre el peso seco total (PSecoTotal) con el NDVI y SAVI ($r=-0.78$ y -0.72 ; respectivamente). Es decir, los índices de vegetación se reducen en las fases de llenado de granos (se incrementó en el tiempo el peso de granos), debido a la tendencia de la materia seca total de tallos y hojas (MSTAérea) hacia un leve incremento, reflejo de la pre senescencia de las plantas de las plantas. Richards y Jia (1993), indicaron que altos valores de índices de vegetación identificaron pixeles cubiertos por porciones de vegetación sanas. Los parámetros NDVI y SAVI, estimados de las imágenes captadas con la Tetracam ADC, están relacionados con ciertas características agronómicas, por fases fenológicas ($^{\circ}\text{Cd}$) de las plantas de los cultivos estudiados. Por lo tanto, solo se presentó en la Figura 4 el comportamiento del NDVI. Para el caso de maíz y yuca, el LAI y la altura de plantas correlacionaron positivamente ($p<0.05$). A medida que se incrementó el LAI y la altura de las plantas de maíz y yuca, se incrementó los valores de NDVI y SAVI. Este comportamiento similar fue hasta la máxima altura de las plantas y máximos LAI en maíz y yuca (5.35 y 3.1, respectivamente) (Figura 5). Lebot (2009), sugirió que el rendimiento máximo de raíces de almacenamiento de yuca ocurre con un LAI entre 2.5 y 3.5. Al transcurrir el ciclo biológico, luego de esta fase estacionaria e inicio de la senescencia de hojas del estrato inferior, se observó que los valores de NDVI y SAVI disminuyeron.

Por la gran cantidad de follaje que emite la variedad de camote Jonathan, desde los 58 DDT (331.7 $^{\circ}\text{Cd}$) hasta la cosecha, el NDVI y SAVI se mantuvieron en incremento constante. Incluso, a los 141 DDT o 1024.3 $^{\circ}\text{Cd}$, se observó un incremento de los valores de los índices de vegetación, debido a un rebrote foliar. Sin embargo, no se encontró correlación con el peso seco de raíz de almacenamiento. El comportamiento del NDVI con LAI y el peso seco de raíz de almacenamiento (PSRA) de yuca permiten sugerir que con la reducción del NDVI y el LAI a los 206 DDS o 1527.65 $^{\circ}\text{Cd}$, y mantenerse estable el PSRA, puede darse inicio a la cosecha. Con relación al maíz, a los 1209 $^{\circ}\text{Cd}$ (fase de llenado de granos), se puede predecir la respuesta de la futura cosecha de granos. Estos resultados son trascendentales, ya que para la estimación de rendimientos en maíz se requiere del análisis en campo de la cantidad de radiación interceptada por las plantas, variables fisiológicas y los componentes de rendimiento (Bolaños 1997; Paliwal 2001; Turrent 2008). En camote, no se determinó la relación entre el crecimiento de las partes vegetativas y el crecimiento de las raíces de

almacenamiento (Montaldo 1991; Huamán 1992; Zhang et al. 2000). En el cultivo de yuca, fue más contundente ya que el rendimiento solo se mide luego del pesaje de la cosecha (Montaldo 1991). Se indicó que las bases biológicas y fisiológicas para la estimación de rendimiento de yuca son difíciles de establecer, debido a la falta de periodos críticos en la producción (Mejía de Tafur 2002).

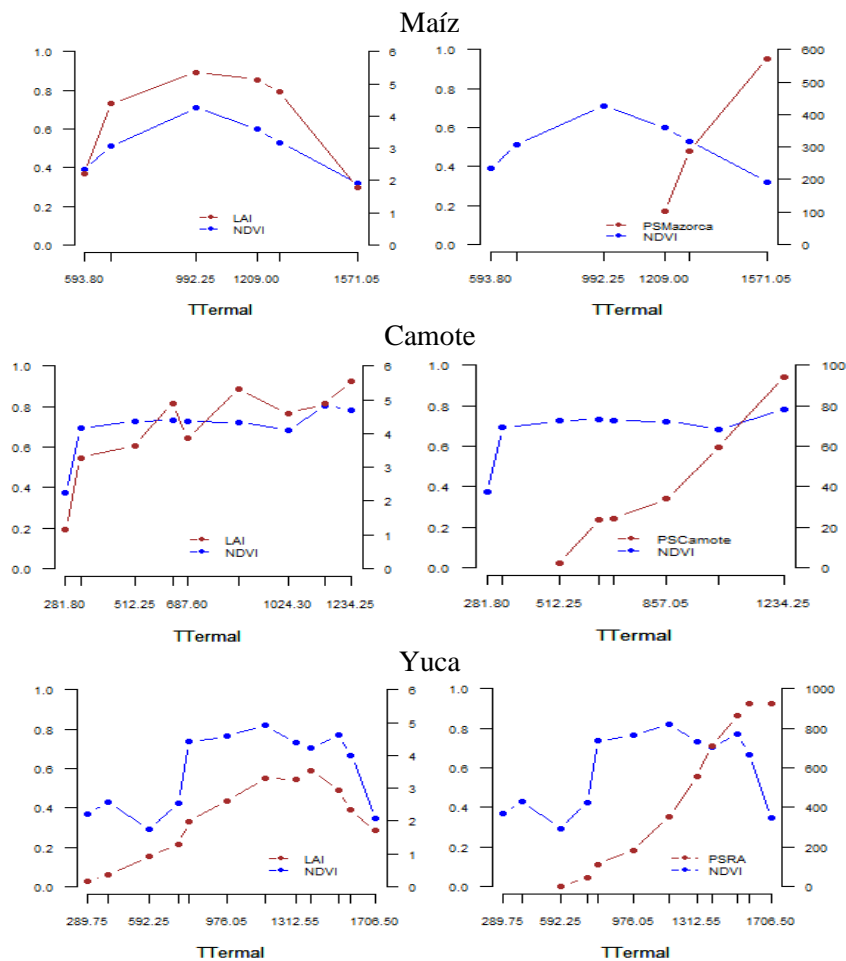


Figura 4: Relación del LAI (izq.), peso seco de mazorca de maíz y de raíces de almacenamiento de camote y yuca (der.); con el NDVI en el tiempo (°Cd).

En la Figura 6, se muestra el ajuste de los modelos de regresión múltiple entre el peso seco de granos de maíz, PSRA de camote y yuca con el NDVI por fechas de vuelo del dron (equivalente a una imagen multiespectral), durante el ciclo biológico de los cultivos (seleccionado con el método paso a paso o *stepwise*). En maíz, de 18 vuelos con información multiespectral, el mejor ajuste (predicción) al modelo observado ($\text{rajustado}^2=0.196$), se obtuvo a los 644.95, 685.7, 799.1, 992.25 y 1571.05 °Cd. En camote, de las 27 imágenes, los registros estimados a los 281.8, 1067 y 1147.55 °Cd, con la predicción respectiva fue de

ajustado²=0.156. En yuca, de 38 imágenes captadas durante todo el ciclo biológico, las observaciones realizadas a los 1312.55, 1419.25, 1487.05, 1561.9 y 1685.35 °Cd, fueron las que realizaron mejor predicción (ajustado²=0.322). En maíz y camote, el método de *stepwise* seleccionó los NDVI desde fases iniciales hasta etapas de madurez; a excepción de las plantas de yuca que solo consideró las fases de máximo desarrollo vegetativo y de raíces de almacenamiento. En este cultivo, se ha demostrado que los parámetros materia seca foliar y LAI, correlacionan positivamente con el rendimiento (Lebot 2009; El-Sharkawy y Mejía de Tafur 2010; Lahai 2013).

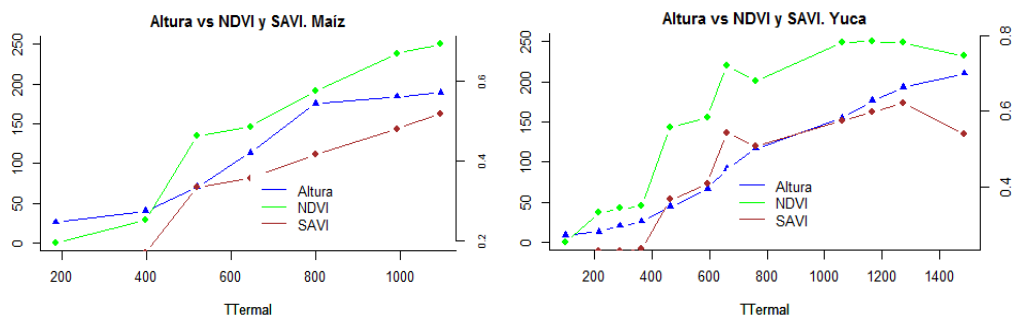


Figura 5: Comportamiento de la altura de plantas de maíz y yuca, con relación al NDVI y SAVI, en el tiempo (orden usual).

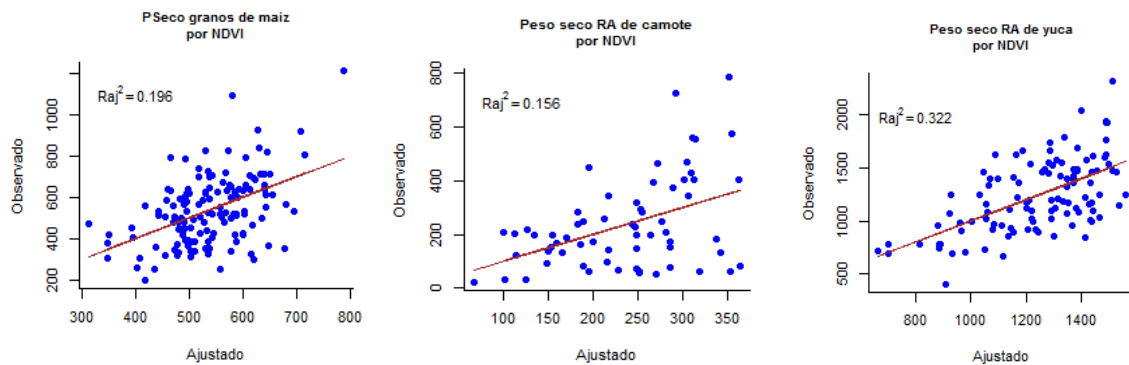


Figura 6: Modelos de regresión múltiple entre el peso seco de granos de maíz, peso seco de raíces de almacenamiento de camote y yuca con el NDVI, por vuelos del dron.

1.4.3 DISCRIMINACIÓN REMOTA DE CULTIVOS Y LA UNIFORMIDAD DEL SUELO

Se analizó la clasificación supervisada de las siguientes variables seleccionadas para la diferenciación remota de los cultivos de maíz, camote y yuca: la reflectancia de las bandas

espectrales G, R, NIR, y de los valores del NDVI y SAVI; los cuales fueron registrados durante el ciclo biológico de los cultivos. Con el análisis multivariado (método de *Random Forests*), se seleccionó la reflectancia de las bandas G, R y NIR, como las variables más importantes para discriminar los cultivos. La información de la reflectancia obtenida de las imágenes registradas en el vuelo del dron a los 94 DDS (en maíz, camote y yuca con 1209, 639 y 734 °Cd; respectivamente), y a los 100 DDS (1293.6, 687.60 y 788.60 °Cd), se determinaron los mayores aportes similares de estas variables para la identificación de los cultivos. A los 94 DDS, los aportes respectivos de las bandas espectrales G, R y NIR fueron de 12.7 por ciento, 22.7 por ciento y 37.3 por ciento. Del análisis discriminante se determinó que el error aparente fue de 10 por ciento y el error aparente de la validación cruzada fue de 10.1 por ciento. Con relación a la reflectancia captada en el vuelo a los 100 DDS, el aporte fue de 20.1 por ciento, 20.5 por ciento y 36.2 por ciento; respectivamente. El error aparente y el error aparente de la validación cruzada fueron de 9.7 por ciento. Con una muestra al azar del 20 por ciento, la variación explicada respectiva en la clasificación de cultivos a los 94 DDS fue de 72.7 por ciento y a los 100 DDS fue de 77.5 por ciento, la cual brindó confianza estadística a esta última determinación (Genuer et al. 2015; Ripley 1996), confirmándose que las respuestas espectrales de los cultivos a lo largo de su ciclo fenológico permiten identificarlos.

En el cálculo del tamaño de unidades experimentales, por la homogeneidad de suelos, en los tres cultivos se detectó que el mayor CV, se obtuvo con el tamaño de la parcela experimental de 1 m², que es el menor tamaño posible. Mientras que, en maíz y camote, el menor CV estuvo asociado a unidades experimentales de 105 m², y en yuca de 66 m², que son los mayores tamaños que se pueden obtener por la variabilidad en este ensayo. Es decir, que a medida que se incrementó el tamaño de las unidades experimentales, disminuyó el CV; pero la magnitud de esta disminución fue menor con el incremento del tamaño de las unidades experimentales. De los gráficos de dispersión que se trazaron de los CV con relación al tamaño de las parcelas, se observaron las curvaturas máximas que son utilizadas en diversos cultivos para estimar el tamaño óptimo de la unidad experimental (Kavitha 2010). En la Figura 7, se observó que en maíz a los 185.10 y 1084.40 °Cd, con la reflectancia de las bandas G, R y NIR, de los 10 a 15 m², se determinó la zona donde la curva adquirió un comportamiento casi constante. En camote a los 15 m² y en yuca a los 8 m². Por lo tanto, al

incrementarse el tamaño de la unidad experimental no reflejó un cambio visual de la curva en el CV.

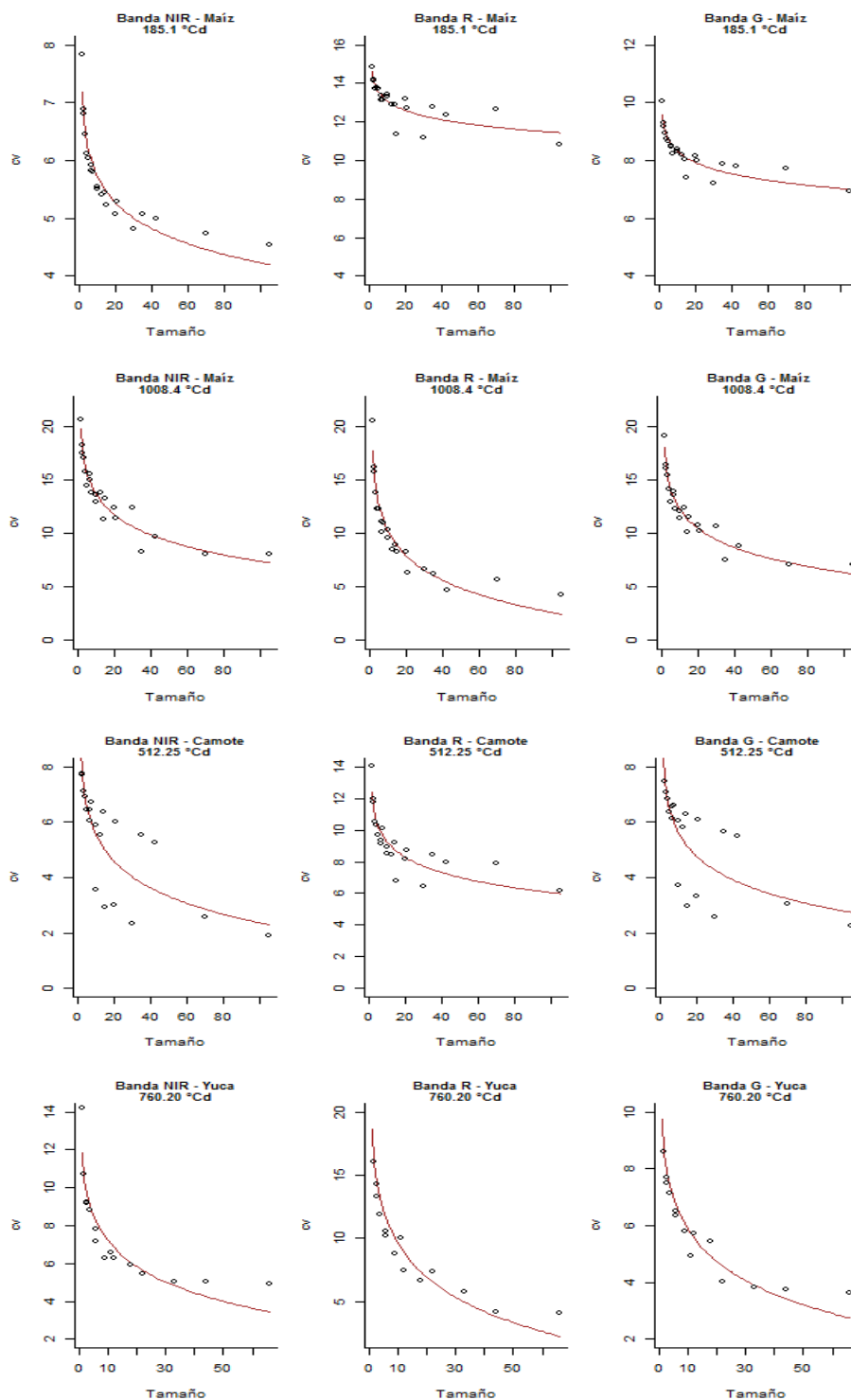


Figura 7: Dispersión de tamaños de parcela experimental por coeficiente de variación (%). Prueba de uniformidad en maíz, camote y yuca. La Molina.

Con el análisis de homogeneidad del suelo de Smith, se realizaron los ajustes del modelo de dispersión por tamaños de parcelas y los CV resultantes por cultivo (Escobar 1981; Vargas-Rojas y Navarro-Flores 2014). En el Cuadro 2, se presentan las unidades experimentales rectangulares propuestas para el cultivo de maíz, con tamaño de 10.65 a 14.2 m² y con CV desde 5.1 por ciento hasta 12.4 por ciento (NIR a los 185.1 y 1008.4 °Cd, respectivamente), en camote con unidad experimental de 14.2 m² y CV de 2.2 por ciento a 9.8 por ciento (verde a los 525.25 °Cd y rojo a los 83.1 °Cd, respectivamente). En yuca, de 8.22 m² y CV de 4.6 por ciento a 10 por ciento (NIR a los 100.1 °Cd y rojo a los 760.2 °Cd, respectivamente). Los tamaños de las unidades experimentales y los bajos CV (%) estimados son los deseados y recomendados para los ensayos con estos cultivos (Vallejo y Mendoza 1992; Masood y Javed 2003; Paranaíba et al. 2009b).

Cuadro 2: Coeficientes de variación (%) por tamaño de unidades experimentales de maíz, camote y yuca, por reflectancia de las bandas espectrales verde, rojo y NIR.

Cultivo/banda espectral	Unidad Experimental (m ²)	Ancho (m)	Largo (m)	CV(%)
Maíz (185.1 °Cd)				
Rojo	10.65	0.71	15.00	11.40
NIR	14.20	1.42	10.00	5.10
Verde	10.65	0.71	15.00	7.40
Maíz (Máximo NDVI)				
Rojo	14.20	1.42	10.00	8.20
NIR	14.20	1.42	10.00	12.40
Verde	14.20	1.42	10.00	10.70
Camote (83.10 °Cd)				
Rojo	14.20	1.42	10.00	9.80
NIR	14.20	1.42	10.00	4.50
Verde	14.20	1.42	10.00	5.00
Camote (Máximo NDVI)				
Rojo	14.20	1.42	10.00	8.20
NIR	14.20	1.42	10.00	3.00
Verde	14.20	1.42	10.00	2.20
Yuca (100.10 °Cd)				
Rojo	8.22	0.83	9.90	9.70
NIR	8.22	0.83	9.90	4.60
Verde	8.22	0.83	9.90	6.00
Yuca (Máximo NDVI)				
Rojo	8.22	0.83	9.90	10.00
NIR	8.22	0.83	9.90	6.60
Verde	8.22	0.83	9.90	4.90

Las características de la reflectancia de vegetación y suelo, en las bandas espectrales G, R y NIR, y sobre todo de R y NIR, adquieren gran valor para proporcionar información sobre el tamaño y la forma más adecuados de las unidades experimentales. También, que los investigadores deben tener en cuenta la variabilidad del suelo y su distribución en el campo.

1.4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO Y RENTABILIDAD

El rendimiento comercial promedio obtenido en las parcelas de referencia de maíz en La Molina fue de 11.35 Mg·ha⁻¹. El peso seco de las raíces de almacenamiento de camote fue de 3.5 Mg·ha⁻¹ (24 por ciento de materia seca de raíces de almacenamiento) y 11.8 Mg·ha⁻¹ de materia seca de follaje (equivalente a 39.1 Mg·ha⁻¹ de biomasa). El promedio de rendimiento de materia seca de raíces de almacenamiento de yuca fue 11.34 Mg·ha⁻¹ (peso fresco de 38.86 Mg·ha⁻¹). Los IC obtenidos en el maíz, camote y yuca fueron 0.47, 0.27 y 0.63, respectivamente. Los rendimientos registrados en maíz y yuca en las parcelas de referencia de La Molina, y en las unidades productivas de Barranca y Cañete, superaron los rendimientos promedio de 7.32 y 17.69 Mg·ha⁻¹ reportados para la costa central y norte del Perú (2010-2014), en camote los rendimientos oficiales son de 17.75 Mg·ha⁻¹, superiores a los obtenidos en La Molina (MINAGRI 2014).

Las localidades de Barranca y Cañete, representan el sistema de producción de la costa norte de Perú. Se siembra el 48.2 por ciento de la producción total de maíz, 72 por ciento de camote y 5 por ciento de yuca (MINAGRI 2015). En el cultivo maíz, los agricultores sembraron los híbridos Pioneer 30F35, Dekalb 8008, Dekalb 5005, Dekalb 7088, BG-9621 y XB-8010. Las variedades de camote de pulpa naranja sembrados fueron Jonathan, Huambachero INIA y Jewel, los de pulpa morada el Morado Milagroso y Morado Limeño. En yuca las variedades sembradas fueron Amarilla Criolla y Señorita. Los agricultores señalaron que en el ciclo biológico del maíz se presentan plagas insectiles y enfermedades fungosas del follaje. En Barranca para el control químico realizan 14 aplicaciones. El 50 por ciento de agricultores de maíz realizan la siembra y cosecha mecanizada. Los rendimientos promedio de grano seco reportados fueron de 11.5 Mg·ha⁻¹. En las unidades productivas de Cañete, realizaron ocho operaciones de labranza de suelos (arado y rastra), surcado y aporques. La cosecha de maíz es manual y se realizan 10 aplicaciones de plaguicidas, indicándose que el rendimiento promedio fue de 10.75 Mg·ha⁻¹. La cosecha de maíz es manual cuando las plantas están

completamente senescentes y el secado de las mazorcas se realiza en el campo utilizando la radiación solar. El desgrane se realiza cuando los granos presentan 14 por ciento de humedad. Un bajo porcentaje de agricultores realizan la cosecha mecanizada con sistema de secado. Los agricultores con compradores de camote y yuca calculan el peso fresco de las raíces de almacenamiento por medio de muestreos de las plantas senescentes.

Los agricultores de los dos sitios, indicaron que las principales plagas de camote son insectos del follaje y enfermedades bacterianas. En Barranca realizan 10 operaciones de labranza convencional, aplican 15 veces plaguicidas y obtuvieron rendimientos promedio de 25 Mg·ha⁻¹ de raíces frescas de almacenamiento. En Cañete solo realizan cinco labores de labranza, con 10 aplicaciones de fitosanitarios y peso promedio de 26.25 Mg·ha⁻¹. El follaje fresco es utilizado para la alimentación de animales de especies menores y ganado vacuno. Con relación al cultivo de yuca, en los dos sitios, se llevan a cabo ocho labores de labranza convencional y se realizan en promedio 10 aplicaciones de fungicidas e insecticidas para el control de insectos plaga y hongos fitopatógenos del follaje. Los rendimientos comerciales de raíces frescas de almacenamiento de yuca en Barranca y Cañete fueron de 18 y 25.75 Mg·ha⁻¹, respectivamente.

Todos los agricultores encuestados señalaron los fertilizantes, dosis y fraccionamiento de los nutrientes N, P y K. En Barranca y Cañete los agricultores de maíz indicaron que aplican dosis medias a altas de estos nutrientes mayores, y altas dosis en camote y yuca. El 20 por ciento de agricultores de camote y yuca de Cañete indicaron que incorporan 7 Mg·ha⁻¹ de gallinaza. En Cañete y Barranca, existen módulos de riego de 5000 a 7000 m³·ha⁻¹ (junta de usuarios sub distrito de riego de Cañete y del distrito de Barranca), para suplir de agua de riego y drenaje por gravedad para los cultivos estudiados. En La Molina, el suministro de agua de riego durante todo el ciclo del cultivo de maíz fue de 6500 m³, en camote 2000 m³ y en yuca 7000 m³. Se coincidió con Pandey y Gardner (1992), los cuales señalaron que los altos rendimientos de maíz, camote y yuca en las unidades productivas de Barranca y Cañete pueden atribuirse a las altas densidades iniciales de siembra, al uso de cultivares con alto potencial de rendimientos adaptados al clima desértico de la costa peruana, uso de agua de riego por gravedad, manejo de plagas y enfermedades y los niveles adecuados de fertilización.

Por los costos unitarios de labores agrícolas e insumos utilizados en las fincas de producción de maíz y camote de Barranca, y en las fincas de yuca de Cañete se estimaron los mayores CD. En las fincas de maíz y camote de Cañete, y de yuca en Barranca se registraron los menores CF. Se reflejó los menores costos de la renta de tierra, costos administrativos y financieros en las dos provincias comparado a La Molina. Pero, en las parcelas de los tres cultivos en La Molina, se registraron los menores CT (Cuadro 3). Esto es por los menores gastos generados por la implementación de las tecnologías del manejo agronómico, fitosanitario y la cosecha de los cultivos para la costa peruana (Manrique et al.1993; Ames et al.1997; Thomas et al. 2006; Lebot 2009). De los CT en la producción de maíz en Barranca, el valor relativo del componente fertilización (costos y mano de obra para la aplicación de fertilizantes), fue de 22.09 por ciento (promedio de 1.7 veces más que La Molina y Cañete) (ANEXOS 4, 5 y 6). En la producción de camote en Barranca se registró el mayor valor promedio relativo al CT en el componente fitosanitario, con 23.63 por ciento, comparado a La Molina y Cañete con 12.04 por ciento y 10.89 por ciento, respectivamente (hasta 2.2 veces más que en Cañete) (ANEXOS 7, 8 y 9). El componente de fertilización en las fincas de Cañete fue superior con 25.65 por ciento. Estas prácticas agronómicas deben ser más eficientes, incorporando las prácticas de mitigación identificadas en el capítulo II, procurando una producción sustentable.

Los mayores IR de maíz y yuca fueron estimados en las parcelas de La Molina; a pesar que en La Molina no se registró la venta de corontas de maíz (en Barranca y Cañete si se contabilizó en las ventas para el cálculo de las utilidades totales). En las fincas de camote en Cañete se obtuvo el mayor IR (promedio de 152.46 por ciento), producto de los mayores BN. Es importante indicar que, en los tres sitios, no pesan el follaje fresco utilizado como forraje, por lo que no se contabilizó su utilidad financiera en la producción de estos cultivos. El cálculo del PE económico y productivo en los tres cultivos, indicó que las parcelas de La Molina y las fincas de Barranca y Cañete, operaron con excelentes ingresos y rendimientos (ANEXOS 10, 11 y 12). Este análisis permitió dimensionar la sensibilidad del impacto en las utilidades por diferencias en precios y volúmenes de venta, nivel y estructura de costos (variables y fijos). También permitió determinar el nivel de seguridad operativa o ventas de los agricultores para no provocar pérdidas. O sea, las fincas con ingresos y volumen de producción superiores a los representados por el PE correspondiente, tendrán utilidades económicas.

1.5 CONCLUSIONES

El manejo integral implementado, permitió expresar las características fisiológicas por etapa fenológica. El patrón de crecimiento y desarrollo fenológico de las variedades de maíz, camote y yuca estudiados, se basó en los °Cd acumulados. La dinámica de crecimiento y desarrollo como una función lineal del TT y su relación de los valores del NDVI y SAVI estimados de la reflectancia registrada por sensores remotos, indicaron posibles periodos predictivos de las cosechas y la estimación de respuestas de los futuros rendimientos de maíz y yuca con precisión y exactitud. Con las bandas espectrales G, R y NIR, se discriminaron los cultivos y se determinó el tamaño óptimo de las parcelas experimentales que estarán conformadas por las unidades básicas de muestreo por cultivo. El análisis financiero, determinó que en las parcelas de referencia de maíz, camote y yuca de La Molina se registraron los menores CT. Además, en maíz y yuca, se obtuvieron los mayores IR y la producción de camote en Cañete registró el mayor promedio de BN y por consiguiente el mayor IR. El cálculo de los PE económico y productivo permitió determinar que las parcelas en La Molina y las unidades productivas en Barranca y Cañete obtuvieron los rendimientos e ingresos necesarios para una buena rentabilidad.

La percepción remota se constituye en una herramienta para describir los atributos agrofisiológicos, la dinámica de crecimiento y desarrollo de los cultivos. Por lo tanto, se recomienda a las autoridades gubernamentales utilizarla como apoyo a las decisiones estratégicas del sector agrícola.

CAPÍTULO II

HUELLA DE CARBONO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN CULTIVOS EN LA COSTA DESÉRTICA PERUANA: COMBINACIÓN DE ENSAYOS DE REFERENCIA, ENCUESTAS EN FINCAS Y MODELOS MATEMÁTICOS

2.1 RESUMEN

Los objetivos fueron: i) evaluar la viabilidad de combinar ensayos de referencia, encuestas de agricultores y modelos de simulación para la estimación de la HC; ii) calcular la HC generada por la implementación de prácticas agronómicas en sistemas mecanizados de cultivo de maíz, camote y yuca; y iii) evaluar el impacto de las opciones de mitigación simuladas por el modelo *CCAFS - Mitigation Options Tool* (CCAFS-MOT) para la reducción de la HC de la producción de maíz, camote y yuca en la costa del Perú. Se estableció un ensayo de referencia en el CIP, La Molina y una encuesta a 100 agricultores de Barranca y Cañete. Se registraron todas las prácticas de producción. La estimación se realizó con la combinación de los modelos matemáticos, CCAFS-MOT y *Cool Farm Tool* (CFT). En el camote y maíz en Barranca se registraron la mayor cantidad de labranzas de suelos y aplicaciones de plaguicidas. En el maíz, se aplicaron dosis medias a altas de N, mientras que, en el camote y yuca, solo dosis altas. Por las emisiones de CO₂ por el transporte de cosechas, las fincas de maíz en Barranca generaron la mayor HC de 306 kg CO₂eq·Mg⁻¹, comparada con las parcelas de referencia con 155 kg CO₂eq·Mg⁻¹. Las principales fuentes de emisión de GEI fueron la producción de fertilizantes en yuca, en La Molina, con 64 por ciento (de kg CO₂eq·ha⁻¹), y su aplicación en las fincas de Barranca (58 por ciento). Las opciones de mitigación simuladas fueron la mínima labranza, incorporación de residuos agrícolas, uso de abonos orgánicos procesados e inhibidores de la nitrificación. Por su implementación, en las parcelas de maíz, camote y yuca en La Molina, se reducen los GEI respectivos en 49 por ciento, 26 por ciento y 38 por ciento. De las HC estimadas en Barranca y Cañete, se reduce en 27 por ciento, 17 por ciento y 22 por ciento, respectivamente.

Palabras claves: Huella de Carbono, CCAFS-MOT, CFT, energía, fertilizantes, plaguicidas.

2.2 INTRODUCCIÓN

La demanda de energía en los cultivos -para labranza, siembra, aplicación de minerales y abonos orgánicos, así como productos químicos para la protección fitosanitaria y cosecha- está aumentando (Haverkort y Hillier 2011). La magnitud varía con el sistema de producción y el nivel de tecnología empleado por los agricultores. El alto uso de agroquímicos aumenta los rendimientos, pero también induce la inestabilidad ambiental (Altieri y Nichollson 2000), con un concomitante incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Por lo tanto, la HC debe ser utilizada como un indicador de la sostenibilidad de los agroecosistemas (Smith et al. 2007; Haverkort et al. 2014; Ma et al. 2014).

La agricultura tiene un impacto positivo en el crecimiento económico y reducción de la pobreza (The World Bank 2008 y 2010). En las próximas décadas, los sistemas agrícolas tendrán el gran reto de satisfacer la creciente demanda de alimentos -alrededor del 35 por ciento de la población mundial proyectada en 2050- y garantizar un uso sostenible de los recursos, por ejemplo, nutrientes, agua, energía y otros (Keller et al. 2008; Jarvis et al. 2011; van Wart et al. 2013). Los principales GEI producidos por el proceso de producción relacionados con la agricultura son el Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O) y Dióxido de Carbono (CO_2) (Smith et al. 2010; Haverkort et al. 2014), que combinadas con otras emisiones antropogénicas son responsables de cambio climático (CC) (Mendelsohn 2007; Smith et al. 2010; Quiroz et al. 2012). Estos gases permanecen en la atmósfera durante mucho tiempo (Houghton 2003; Solomon et al. 2007). Las emisiones se estiman en términos de GEI total en $\text{kg CO}_2 \text{ eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ (HC_{ha}) y en intensidad de GEI en $\text{kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$ (HC_i) (Lal 2004). Las emisiones de GEI pueden ser muy específicas en las escalas regionales y locales, ya que son una función de ordenación del territorio, clima, geografía y tecnología (Hillier et al. 2011b).

La estimación de la HC en cultivos de importancia económica es una forma novedosa de análisis de su contribución potencial al CC. Para la cuantificación de la HC por actividades agrícolas, a escala regional, se han utilizado diversos modelos basados en procesos empíricos que incluyen mediciones directas relacionadas con el uso y manejo de la tierra, así como inventarios nacionales realizados por organismos especializados (Olander 2011; Colomb et

al. 2012; Hillier et al. 2012). Sin embargo, sus estimaciones difieren cuando se prueban con medidas locales (Wollenberg et al. 2012).

Es muy conocido que los métodos de estimación están limitados por la disponibilidad de datos de pequeña escala (Olander 2011). Por su parte el IPCC (2013), clasificó los actuales métodos disponibles para la cuantificación de las emisiones de GEI agrícolas como complejos y que en muchos países en vías de desarrollo no disponen de la HC de referencia por cultivos de importancia económica. Frohmann y Olmos (2013), alertaron que la ausencia de estimaciones de HC son barreras ambientales en las exportaciones hacia los mercados de los países industrializados. También se ha anunciado la implementación del etiquetado que indicaría a los consumidores del producto exportado la cantidad de emisiones de CO₂ en el proceso de producción y transporte.

Ningún método de estimación de HC ha sido elaborado para un tipo específico de usuario y las iniciativas de estimación carecen de estándares reconocidos internacionalmente (Colomb et al. 2012). Sin embargo, hay algunos avances en ese sentido, donde la literatura presenta una serie de herramientas para calcular HC de las prácticas agrícolas y forestales; a saber: CALM, C-Plan, COMET-Planer, AFOLU-Calculator, EX-ACT, USAID FCC, Holos, ClimAgri®, ALU, Carbon Farming Calculator, Climagri®, Full CAM, IFSC, y otros (Haverkort y Hillier 2011; Colomb et al. 2012; Hillier et al. 2012; Whittaker et al. 2013).

Es importante que la herramienta seleccionada reúna varios modelos empíricos para estimar las emisiones de GEI de diferentes usos de la tierra (Feliciano et al. 2014). En este sentido, dos modelos matemáticos de acceso abierto basados en excel - CCAFS-MOT, <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/67027> y CFT v.2-beta 3, <https://www.coolfarmtool.org/CftExcel>- son opciones fáciles de usar para los países en desarrollo. Ambos modelos adoptan un proceso de armonización de los datos, la calibración y la validación requeridos por las normas internacionales (Haverkort y Hillier 2011; Feliciano et al. 2014; Tubiello 2015) (Cuadro 4).

Cuadro 4: Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero que utilizan los modelos CCAFS-MOT y CFT para la estimación de HC en los cultivos de maíz, camote y yuca.

Fuente de Emisión	CCAFS-MOT	CFT
Producción de fertilizantes (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	+	+
Aplicación de fertilizantes kg CO ₂ eq·ha ⁻¹	+	+
N ₂ O (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)		
Empobrecimiento de suelos NO ₂ (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	+	-
Gestión NH ₄ de estiércol CH ₄ (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	+	-
Quema de residuos CH ₄ (CO ₂ eq·ha ⁻¹)	+	-
N ₂ O (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)		
Uso de plaguicidas (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	-	+
Uso de energía en campo (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	-	+
Transporte de cosecha (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	-	+

El modelo CCAFS-MOT, integra varios modelos empíricos ya validados en cultivos de secano, arroz, pastos y ganadería. Estima las emisiones de GEI en todas las etapas de producción, con el manejo de la tierra, el uso y las características de los agroquímicos y la producción y uso de fertilizantes sintéticos. También, estima reducciones de HC por diversas opciones de mitigación (Bouwman et al. 2002; Yan et al. 2005; Stehfest y Bouwman 2006; Smith et al. 2007). El IPCC (2013), definió mitigación como la intervención antropogénica para reducir las fuentes y mejorar los sumideros de emisiones de GEI (cualquier proceso, actividad o mecanismo que elimine los GEI de la atmósfera). El modelo CFT, a su vez, se compone de sub modelos que estiman emisiones de GEI por sistemas de producción, incluyendo como fuentes de emisión las prácticas agrícolas, protección de cultivos, características de suelo y clima, uso directo de energía para el trabajo agrícola y transporte de productos agrícolas y ganadería (Bouwman et al. 2002, Ogle et al. 2005, ASABE 2006a, 2006b, Ecoinvent 2007; Audsley et al. 2009; IPCC 2013).

El modelo CCAFS-MOT no estima el uso energético de actividades en campo para la producción de cosechas, el cual es menos variable que la estimación de emisiones basadas en los rendimientos de materia fresca o seca (Haverkort y Hillier 2011). Por lo tanto, es

necesario utilizar modelos complementarios para incluir las actividades más importantes y debido a que por las metodologías de estimación de GEI en forma individual la incertidumbre es variable (Hillier et al. 2012). En fin, existe una serie de modelos de estimación que se han desarrollado en forma independiente basados en diversos componentes de suelo, ambientales, clima y las interacciones dinámicas espaciales y temporales. Esto trae consigo dudas de la eficacia del uso de los resultados de un modelo único como base para la evaluación de las respuestas agrícolas (Wolf 2002; Rosenzweig et al. 2013). Por lo tanto, se sugiere que el promedio de las estimaciones de varios modelos puede reflejar la realidad en forma más precisa que individualmente (Martre et al. 2015; Fleisher et al. 2016).

Todos los modelos existentes para estimar la HC en la agricultura requieren de gran cantidad de datos. En los países en desarrollo, los datos detallados necesarios como insumos, en su mayoría son inexistentes. Por lo tanto, es necesario producir estimaciones confiables, reduciendo el requerimiento de datos. El presente estudio fue diseñado para evaluar métodos matemáticos alternativos para obtener datos de las prácticas agronómicas de producción, manteniendo la calidad de las estimaciones de la HC y de opciones de mitigación. Los objetivos de este estudio fueron: 1) Evaluar la viabilidad de combinar ensayos de referencia, encuestas de agricultores y modelos de simulación para la estimación de la HC; 2) calcular la HC generada por la implementación de prácticas agronómicas en sistemas mecanizados de cultivo de maíz, camote y yuca; y 3) evaluar el impacto de las opciones de mitigación simuladas por el modelo CCAFS-MOT para la reducción de la HC de la producción de maíz, camote y yuca en la costa del Perú.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 ENSAYO DE REFERENCIA Y DATOS AGRONÓMICOS MEDIDOS PARA LA ENTRADA DEL MODELO

Se estableció un ensayo en el campo experimental del CIP en La Molina, Lima, para cuantificar el uso de insumos y prácticas agrícolas y ser utilizado como referencia para evaluar los datos obtenidos por encuestas aplicadas a agricultores de diferentes localidades de las provincias de Barranca y Cañete, en la costa central del Perú. Se registraron los parámetros de producción desde la preparación de suelos hasta pos cosecha (cuando aplicaba), y se utilizaron para estimar la HC de los cultivos de maíz, camote y yuca. El experimento se realizó entre diciembre de 2014 y septiembre de 2015 en suelos franco arenoso. El maíz se cosechó el 13 de abril, el camote el 16 de junio y la yuca el 03 de septiembre de 2015. Por cultivo, se establecieron seis parcelas de 150 m² (15 x 10 m). Las variedades utilizadas en los cultivos de maíz, camote y yuca fueron PM-213, Jonathan y Amarilla Criolla respectivamente. La densidad inicial de siembra de las parcelas de maíz fue de 6.25 plantas·m² (distancias entre surcos de 0.80 m y entre plantas 0.20 m). En camote, la densidad fue de 4.2 plantas·m² (distancias de 0.80 m y 0.30 m entre surcos y plantas, respectivamente). Las parcelas de camote constaron de siete surcos separados a 0.80 m y 0.30 m entre plantas (4.2 plantas·m²), mientras que en yuca fue de 1.0 planta·m².

En el cultivo de maíz, se registraron siete operaciones mecánicas de labranzas del suelo que consistió en un pase de arado, de rastra, el surcado para la siembra y tres aporques para la incorporación de fertilizantes. Las labores mecánicas de preparación del terreno e incorporación de fertilizantes en el maíz fueron similares a las de yuca. En camote solo se realizó la preparación mecánica de suelos. El análisis de suelos reveló cantidades bajas de N (1.6 por ciento) y de P (6.9 ppm), y altas de K (102 ppm), por lo tanto, los fertilizantes aplicados fueron la Urea, 20-20-20 y 40-60-20 como fuentes de N. Los dos últimos como fuentes de P y K, y además se aplicó el KCl como fuente de K (K₂O). En maíz se realizaron altas aplicaciones de N, medias de P y bajas de K. En camote y yuca las dosis fueron medias para los tres nutrimentos mayores. El manejo de plagas se basó en el diagnóstico *in situ* y en los respectivos umbrales poblacionales por etapa fenológica de cada cultivo (Clark y Moyer

1988; Hillocks et al. 2002; Agrios 2005; MINAGRI 2014). Para el control químico de las plagas [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] y *Heliothis zea* (Boddie), se realizaron cinco aplicaciones de insecticidas. Con relación al control de las plagas foliares en camote *Prodenia* (= *Spodoptera*) *eridania* (Cramer) y áfidos se realizaron 10 aplicaciones de insecticidas. En las parcelas de yuca se presentaron las plagas *Erinnyis ello* (L), *Tetranychus* sp. y *Trialeurodes* spp. Para el control se realizaron seis aplicaciones de insecticidas-acaricidas. Se aplicó riego por gravedad, por medio de una bomba eléctrica de 30 HP (factor de conversión de 1 HP=0.73 kWh).

Las cosechas de los cultivos se realizaron manualmente. Los rendimientos promedios de grano por parcelas se utilizaron para calcular el rendimiento comercial de grano ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), basado en 14 por ciento de humedad. Los componentes del rendimiento registrados fueron: i) número de mazorcas por plantas, ii) granos por mazorca y iii) el peso por grano (Bänziger et al. 2000; Monneveux et al. 2008). En camote, biomasa total, materia seca total, peso fresco y seco de raíces de almacenamiento ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y en yuca el peso fresco y seco de raíces de almacenamiento ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). El índice de Cosecha (IC) se determinó por la relación del rendimiento seco por cultivo del total de la materia seca (Bhagsari 1990; Kawano 1990; Hay 1995; Bänziger et al. 2000; Condori et al. 2008). El contenido de materia seca de los granos de maíz cosechados se determinó con el Burrow digital moisture computer-700 (Burrows Seedburo Equipment Co., Chicago, IL.) (Zinner y Sinclair 1982; Hurburgh et al. 1985). Para calcular la materia seca de partes aéreas de plantas cosechadas de todos los cultivos; así como de las raíces de almacenamiento, se pesaron por separado los órganos frescos y se secaron en un horno a 70°C hasta peso constante (Monteith 1994).

2.3.2 ENCUESTAS A LOS AGRICULTORES DE BARRANCA Y CAÑETE

2.3.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ZONAS MUESTREADAS Y ENCUESTAS

Durante noviembre de 2015 a enero de 2016, se realizaron 100 encuestas -con error de la muestra de 9.8 por ciento de una población finita (Cochran 1977)- aplicadas a agricultores de Barranca y Cañete del sistema de producción mecanizado de maíz (36), camote (30) y

yuca (34). La Latitud varió desde 10° a 12° S y la Longitud de 76° a 77° W. La precipitación anual fue escasa (SENAMHI 2016 y Cuadro 5). En la provincia de Barranca se encuestaron agricultores de las localidades de La Campiña de Supe, Arguay, San José de Pativilca y el Centro Poblado Santa Elena Norte y Sur. En la provincia de Cañete en las localidades de Hualcará, Herbay y el Centro Poblado Menor de Unanue de San Vicente. La ubicación geoespacial de las unidades productivas se llevó a cabo con un GPS. Las coordenadas se utilizaron para determinar la distancia de los lugares de colecta de los productos de cosecha, así como al Mercado Central de Lima. Las encuestas consistieron de preguntas específicas para registrar todas las prácticas de producción incluyendo la preparación del suelo, manejo de semillas, diversas aplicaciones de agroquímicos en general (fertilizantes y productos fitosanitarios), rendimiento comercial y el transporte final de los productos de cosechas. La información obtenida sobre la superficie sembrada, la producción total y el rendimiento promedio, se complementó con los conocimientos de expertos locales y verificada con la base de datos oficiales de las instituciones nacional e internacionales (MINAGRI 2014; FAO 2015). El área de siembra por agricultor -estandarizada por la reforma agraria de 1969 (Matos 1980)- en Barranca y Cañete es de 4 ha y de 3 ha, respectivamente. Representan el sistema de producción de la costa norte de Perú, donde la siembra respectiva de la producción total de maíz, camote y yuca es 48.2 por ciento, 72 por ciento y 5 por ciento (MINAGRI 2015).

Cuadro 5: Zonas de vida, suelos, georeferencia, altura y precipitación de La Molina y localidades de las provincias de Barranca y Cañete. Lima. Perú.

Localidad	Zonas de Vida	Clasificación de Suelos	Ubicación Geoespacial	Altura (msnm)	Precipitación anual (mm)		
La Molina	Desierto desecado Subtropical	Fluvisol	12°04'36.4"S 76°57'01.1"W	241	11		
	Desierto superarido Subtropical		10°44'16.9"S 77°43'21.5"W				
Barranca	estepa Montano Tropical	Regosol Leptosol	10°43'49.0"S 77°43'40.3"W	500 a 700	2 a 20		
	Desierto perarido Premontano Tropical		10°43'59.9"S 77°45'58.9"W			49 45	350 – 550 20 a 60
	Desierto desecado Subtropical		10°47'04.6"S 77°42'12.8"W			81	7 a 50
Cañete	Desierto desecado Subtropical	Fluvisol	13°04'40.8"S 76°21'22.6"W	30	11		

Fuente: Tossi and Holdridge (1960), ONERN (1970) y Gardi et al. (2014).

En cuanto a variedades de maíz, los agricultores prefieren los híbridos Pioneer 30F35, Dekalb 8008, Dekalb 5005, Dekalb 7088, BG-9621 y XB 8010. En camote, las variedades preferidas son Jonathan, INIA Huambachero y Jewel – pulpa naranja-, así como el Milagroso y Morado Limeño – variedades moradas. En yuca, las variedades preferidas son Amarilla Criolla y Señorita.

2.3.2.2 DATOS AGRONÓMICOS OBTENIDOS PARA LA ENTRADA DE LOS MODELOS

Los agricultores de maíz en ambas provincias realizan, en promedio, ocho operaciones de labranza del suelo (arado, rastra, surcado y aporque). En Barranca el 50 por ciento de agricultores realizan la siembra y cosecha mecanizada, mientras que, en Cañete, la cosecha es manual cuando las plantas están completamente senescentes. El secado de las mazorcas enteras se realiza en el campo. En esta provincia el desgrane se realiza cuando los granos presentan 14 por ciento de humedad (verificado por compradores de la agroindustria). Esta humedad en los granos permite una buena preservación y tolerancia a las plagas y enfermedades del almacenamiento. Cuando la cosecha se mecaniza con un sistema de secado, la humedad se controla periódicamente. Se realizaron 10 operaciones de labranza convencional en el camote en Barranca y cinco en Cañete. A su vez, para yuca en Barranca y Cañete, se reportaron ocho operaciones de labranza convencional.

Los suelos predominantes para la Costa Central incluyen Fluvisoles, Regosoles y Leptosoles (Gardi et al. 2014). En cada localidad se seleccionaron varias unidades agrícolas y se analizaron sus suelos en el Laboratorio de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en Lima. La textura determinada para Barranca fue suelo arcilloso-arenoso, arenoso y limoso; y en Cañete, los suelos son arenoso y arcilloso (Cuadro 6). El pH es básico y el bajo contenido de nitrógeno en el suelo reflejó baja materia orgánica. Todos los agricultores encuestados aplicaron urea a los tres cultivos (Cuadro 7). Otras fuentes variaron con el cultivo y el sitio. Los agricultores de maíz en ambos sitios utilizan NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y la fórmula 20-20-20. Los agricultores de camote en Barranca fertilizaron con NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ y con KCl y K_2SO_4 como fuentes de K_2O . Mientras que en Cañete los agricultores también aplicaron NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y 0-46-0; pero en Cañete, en yuca también complementaron con $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$,

20-20-20 y 0-46-0. Se aplicaron dosis medias a altas de N al maíz en ambos sitios, pero se aplicaron dosis altas de N al camote yuca. Se informó de dosis medias y altas de P y K para el maíz y medias en el camote y yuca, en ambos sitios.

Los agricultores de ambas provincias indicaron que en el ciclo biológico del maíz se presentan las plagas *Agrotis* spp., *S. frugiperda*, *H. zea*, pulgón y el complejo de la mancha alquitrán (causado por la interacción entre *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*). Para el control químico de plagas y enfermedades en Barranca realizan 14 aplicaciones, en contraste con las 10 aplicaciones de plaguicidas registradas en Cañete. Las principales plagas registradas en camote en Barranca y Cañete fueron *Agrotis* spp., *P. eridania*, pulgones y enfermedades bacterianas. El control químico se realiza con 15 de plaguicidas en Barranca y 10 en Cañete. En ambas provincias los agricultores de yuca informaron de 10 aplicaciones de fungicidas e insecticidas -en promedio- para el control de *E. ello*, *Tetranychus* sp., *Trialeurodes* spp. y *Oidium* spp. Existen módulos de riego -de 5000 a 7000 m³·ha⁻¹ (junta de usuarios sub distrito de riego de Cañete y del distrito de Barranca)- para suplir de agua de riego y drenaje por gravedad para los cultivos estudiados.

2.3.2.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

Para el cálculo de HC en el modelo CCAFS-MOT se seleccionaron las hojas de entrada general (con información de región, suelos, cambios en el uso de tierra y zona ecológica) y cultivos (tipo de cultivo, rendimientos por unidad agrícola, promedio de región, manejo de suelos, el detalle del tipo y cantidad de fertilizantes fueron descritos anteriormente). El modelo incorporó 16 prácticas de mitigación, las cuales pueden reducir las emisiones de GEI de tierras agrícolas (Moran et al. 2008; Akiyama et al. 2010; Linqvist et al. 2012; Shan y Yan 2013; van Kessel et al. 2013; Benites y Bot 2014; Nayak et al. 2015). Las opciones individuales de prácticas de mitigación por cultivo fueron consultadas a los agricultores, obteniéndose escenarios potenciales de reducción de los impactos por las emisiones. En el modelo CFT se seleccionaron las siguientes hojas de trabajo: 1. Información general (país, localidad, año, producto, rendimiento por área, clima, y temperatura promedio anual); 2. Manejo de cultivos (cultivo, suelos, producto, nutrientes, cantidad y método de aplicaciones de fertilizantes, número de aplicaciones de plaguicidas como herbicidas, insecticidas,

fungicidas, y manejo de residuos de cosechas). Para CFT, cada dosis de ingrediente activo por plaguicida se cuenta como una aplicación, ya sea aplicado solo o en mezclas; 5. Uso de energía en campo (electricidad, gasolina, diésel por equipos o maquinaria desde preparación de suelos hasta la cosecha); y 7. Transporte de cosechas. Los valores de emisión de GEI de las fincas, por sitio, consistían de los promedios (Montgomery y Runger 2003), de la producción y aplicaciones de fertilizantes -calculadas por ambos modelos- más las estimaciones de otras fuentes de emisión calculadas por modelos individuales (ver el detalle en el Cuadro 4). El total de HC también incluyó el transporte de los productos hasta su destino final. Por lo tanto, se realizaron evaluaciones comparativas a nivel de finca, así como la HC total, considerando el transporte.

Cuadro 6: Caracterización de suelos y temperatura promedio anual de las localidades de La Molina, Barranca y Cañete. Perú.

Localidad	Textura	Clase textural	C Orgánico (%)	N (%)	MO (%)	pH	Densidad Aparente (g·cm ⁻³)	T° promedio anual (°C)
La Molina	Franco arenoso	medio	0.50	1.60	1.06	7.60	1.50	19.30
Barranca								
La Campiña	Franco arenoso	gruesa	0.86	0.08	1.48	7.70	1.46	19.00
Santa Elena Norte	Arena	gruesa	0.41	0.05	0.70	8.02	1.44	18.80
Santa Elena Sur	Arena	gruesa	0.23	0.04	0.47	7.85	1.49	18.51
San José Pativilca	Franco arenoso	gruesa	0.64	0.06	1.04	7.09	1.31	18.51
Arguay	Arena limosa	gruesa	1.05	1.00	1.81	7.00	1.42	18.51
Cañete								
Hualcará	Arena	gruesa	0.17	0.03	0.29	7.54	1.50	24.33
Unanue	Arena	gruesa	0.09	0.03	0.16	7.20	1.49	21.50
Herbay	Franco	medio	1.14	0.08	2.14	7.78	1.42	21.50

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM. C Orgánico: (Carbono Orgánico), MO: Materia Orgánica.

Cuadro 7: Niveles de N, P y K (kg·ha⁻¹) y fertilizantes aplicados en maíz, camote y yuca. La Molina, Barranca y Cañete, Perú.

Localidad	Maíz				Camote				Yuca			
	N	P	K	Fertilizantes	N	P	K	Fertilizantes	N	P	K	Fertilizantes
La Molina	210	60	40	Urea 20-20-20	105.2	50	87	Urea 20-20-20 KCl	80	120	125	40-60-20 KCl
Barranca	119 a 345	69 a 92	33 a 75	Urea NH ₄ NO ₃ 0-46-0 (NH ₄) ₂ HPO ₄ KCl	80 a 128	60 a 92	33 a 50	Urea NH ₄ NO ₃ (NH ₄) ₂ HPO ₄ KCl K ₂ SO ₄	174 a 300	81 a 92	50 a 68	Urea (NH ₄) ₂ HPO ₄ 0-46-0 KCl
Cañete	105 a 200	40 a 120	100 a 140	Urea 0-46-0 20-20-20 KCl	92 a 112	92	50 a 100	Urea NH ₄ NO ₃ 0-46-0 (NH ₄) ₂ HPO ₄ KCl Ca(H ₂ PO ₄) ₂	92 a 132	40 a 92	50 a 140	Urea 20-20-20 0-46-0 (NH ₄) ₂ HPO ₄ KCl

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 COMPONENTES AGRONÓMICOS, FITOSANITARIOS Y RENDIMIENTOS

2.4.1.1 PARCELAS DE REFERENCIA EN LA MOLINA Y FINCAS DE BARRANCA Y CAÑETE

El rendimiento comercial promedio obtenido en las parcelas de referencia de maíz en La Molina fue de $11.35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. El peso seco de las raíces de almacenamiento de camote fue de $3.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (equivalente a $14.56 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de raíces frescas de almacenamiento) y $11.8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de materia seca de follaje (equivalente a $39.1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biomasa). El promedio de rendimiento de materia seca de raíces de almacenamiento de yuca fue $11.34 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (peso fresco de $38.86 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Los IC resultantes respectivos en el maíz, camote y yuca fueron 0.47, 0.27 y 0.63. Los rendimientos registrados en maíz y yuca en las localidades de La Molina, Barranca y Cañete superaron los rendimientos promedio de 7.32 y $17.69 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ reportados para la costa central y norte del Perú (2010-2014) (MINAGRI 2014). El manejo agronómico y fitosanitario implementado en las parcelas experimentales fue generado y validado para la costa peruana con clima desierto árido, lo cual permitió la expresión del potencial de rendimientos (Manrique et al. 1993; Ames et al. 1997; Thomas et al. 2006; Lebot 2009). Las estadísticas oficiales de rendimiento de camote son $17.75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, ligeramente superiores a los obtenidos en La Molina. Los menores rendimientos en La Molina se explican en parte por el hecho de que se utilizó una variedad de doble propósito, con un índice de raíz seca/biomasa seca total menor de 0.5. Sin embargo, los valores estimados de IC concuerdan con los reportes de las evaluaciones agronómicas y de materia seca de las raíces de almacenamiento de camote en Colombia y en los sistemas de selva y costa de Perú (Tique et al. 2009; Reynoso 2003).

Con relación a los rendimientos obtenidos en la costa central del Perú, el rendimiento comercial promedio reportado para el maíz en Barranca fue de $11.5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, y en Cañete, $10.75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los rendimientos comerciales de raíces de camote y yuca son registrados en peso fresco y su cálculo se realizó en conjunto con compradores, por medio de muestreos de

plantas senescentes. Los agricultores no pesan el follaje fresco utilizado como forraje, por lo que no se obtuvo datos de rendimientos. En Barranca, los rendimientos promedio de raíces frescas de almacenamiento de camote registrados fueron de $25 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y en Cañete, $26.25 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los respectivos rendimientos comerciales de raíces frescas de almacenamiento de yuca en Barranca y Cañete fueron de $18 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $25.75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Los altos rendimientos de maíz, camote y yuca en Barranca y Cañete también pueden atribuirse a las altas densidades iniciales de siembra, al uso de cultivares con alto potencial de rendimientos adaptados al clima desértico de la costa peruana, al uso de agua de riego por gravedad, buen manejo de plagas y enfermedades y niveles adecuados de fertilización. Pandey y Gardner (1992), reportaron que los incrementos en los rendimientos en maíz es reflejo del uso de híbridos con tolerancia a altas densidades y a las principales plagas y enfermedades.

2.4.2 GEI EN UNIDADES AGRÍCOLAS DE MAÍZ, CAMOTE Y YUCA

2.4.2.1 EMISIONES DE GEI POR LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, ENSAMBLAJE DE LOS MODELOS

En maíz las emisiones promedio asociadas a la producción de los fertilizantes utilizados en La Molina (estimado con ambos modelos - Cuadro 8) fueron de $657 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$. En camote el promedio fue de $537 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$. En yuca, a su vez, un promedio de $525 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$. En las fincas de producción de maíz de Barranca se obtuvo la mayor emisión con promedio de $1090 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ y en Cañete la menor emisión ($500 \text{ kg de CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$). En camote, en las fincas de Cañete se estimó la mayor emisión de GEI y en Barranca la menor, con promedio de 920 y $508 \text{ kg de CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. En el cultivo de yuca, las emisiones en Cañete fueron similares a las parcelas de referencia de La Molina y en Barranca fueron de $661 \text{ kg de CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$. En maíz, de la evaluación conjunta de la fuente de la aplicación de fertilizantes, en La Molina se registró la menor emisión promedio de $539 \text{ kg de CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ y su emisión de 194 NO_2 ($\text{kg de CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$), fue mayor que el promedio registrado en las fincas de Cañete con 174 NO_2 ($\text{kg de CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$). En camote y yuca, las emisiones promedio respectivos en La Molina fueron los más bajos con $315 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ y 187 NO_2 ($\text{kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$) y $47 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ y 129 NO_2 ($\text{kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Cuadro 8: Emisiones de GEI por componente de producción en maíz, camote y yuca, y las respectivas HCs estimadas con los modelos CCAFS-MOT y CFT. Parcelas de referencia en La Molina y fincas de Barranca y Cañete.

Componente/Modelo	La Molina			Barranca			Cañete		
	Maíz	Camote	Yuca	Maíz	Camote	Yuca	Maíz	Camote	Yuca
Producción de Fertilizante* (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	657	537	525	1090	508	661	500	920	524
Aplicación de Fertilizante * (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	539	315	47	1423	462	691	562	511	410
N ₂ O (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	194	187	129	406	283	488	174	312	262
Empobrecimiento de Suelos◇ CO ₂ (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	176	0	0	211	403	0	475	179	0
CH ₄ Manejo de estiércol◇ CH ₄ (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)								383	383
Quema de Residuos◇ CH ₄ (CO ₂ eq·ha ⁻¹)						134			149
N ₂ O (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)						30			34
Uso de plaguicidas† (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	103	205	123	205	294	205	205	205	205
Uso de energía en campo† (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	95	62	100	103	65	55	59	50	59
Subtotal (kg CO ₂ eq·Mg ⁻¹)	155	90	24	290	81	126	184	98	79
Subtotal (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	1764	1306	924	3333	2015	2264	1975	2560	2026
Transporte de cosechas† (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	0	0	0	185	3503	2374	334	2348	2287
Total (kg CO ₂ eq·Mg ⁻¹)	155	90	24	306	221	258	215	187	167
Total (kg CO ₂ eq·ha ⁻¹)	1764	1306	924	3518	5518	4638	2309	4908	4313

*Emisión promedio estimados por el ensamblaje de los modelos CCAFS-MOT y CFT

◇Emisión por fuente de emisión y total estimada por el modelo CCAFS-MOT

†Emisión por fuente de emisión y total estimada por el modelo CFT

Las emisiones promedio más altas generadas en las fincas de maíz en Barranca, se atribuye al tipo y cantidad de fertilizantes utilizados. La producción de fertilizantes aplicados requiere el uso de cantidades significativas de combustibles fósiles, que es dependiente de las tecnologías de producción y el país donde se fabrica el fertilizante (Brenttrup y Pallière 2008). Las estadísticas del MINAGRI (2015), indican que el 98 por ciento de las importaciones de fertilizantes nitrogenados provienen de Estados Unidos de América. La aplicación de estos fertilizantes incrementa las emisiones de N₂O, NO y NH₃, a través de la nitrificación, desnitrificación y volatilización, que ocurren naturalmente en los suelos (IPCC 2013). Las unidades productivas de maíz en Barranca, se caracterizaron por las aplicaciones de altos niveles de N de hasta 345 kg (1.6 veces superior de urea y otros fertilizantes nitrogenados aplicados en La Molina), junto con los mayores rendimientos más altos, influyeron en la HC total calculada. Estos resultados son coherentes con los obtenidos en campos sembrados en

Canadá con maíz por 19 años continuos (Ma et al. 2014). En Perú, esta información es de gran importancia ya que a pesar de que el maíz es sembrado en grandes áreas (FAO 2014) - el promedio anual para los últimos cinco años superó las 1.5 millones Mg de grano seco- no cubre la demanda de 4 millones de Mg requeridas por el sector avícola que es el mayor consumidor. Esto justifica las programaciones oficiales de aumento del área de siembra y la programación de los agricultores a aplicar altos niveles de N. El cultivo de maíz es considerado gran extractor de nutrientes del suelo, restituyéndose periódicamente con fertilizantes nitrogenados en su proceso productivo. Esta situación concuerda con la FAO-IFA (2004), que señalaron que en el futuro próximo se incrementará el uso de fertilizantes nitrogenados y la producción de estiércol, especialmente en los países en desarrollo. Sin embargo, el sistema de producción de yuca en Barranca también se basó en aplicaciones de altos niveles de N, hasta 300 kg (3.75 veces más que en La Molina) y, por lo tanto, se estimaron emisiones altas de 488 NO₂ (kg CO₂eq·ha⁻¹).

2.4.2.2 EMISIONES POR EL EMPOBRECIMIENTO DEL SUELO (NO₂), EL MANEJO DE ESTIÉRCOL Y QUEMA DE RESIDUOS (CH₄)

En las parcelas de maíz en La Molina, el promedio de la fuente empobrecimiento de suelos fue de 176 kg de NO₂ (kg CO₂eq·ha⁻¹). En camote y yuca, no se registraron emisiones. En esta fuente, solamente en las fincas de maíz de Barranca se registraron emisiones con promedio de 211 kg de NO₂ (kg CO₂eq·ha⁻¹), y alta emisión en Cañete con 475 kg de NO₂ (kg CO₂eq·ha⁻¹). En camote de Barranca y Cañete, se registraron emisiones promedio respectivas de 403 y 179 kg de NO₂ (kg CO₂eq·ha⁻¹). En yuca, para ambos sitios, no se registraron emisiones (Cuadro 8). Las emisiones estimadas del CH₄ procedentes del manejo del estiércol se produjeron solo en camote y yuca en Cañete, con promedio de 383 kg CO₂eq·ha⁻¹, para cada uno. La emisión correspondiente de CH₄ proveniente de la quema de residuos de yuca en Barranca fue de 134 kg CO₂eq·ha⁻¹ y en Cañete de 149 kg CO₂eq·ha⁻¹, mientras que los valores de NO₂ fueron de 30 y 34 kg CO₂eq·ha⁻¹, respectivamente. En las dos provincias la contribución promedio del uso de plaguicidas a las emisiones -en los tres cultivos-, fueron superiores a las emisiones registradas en las parcelas de La Molina (con 103, 205 y 123 kg CO₂eq·ha⁻¹, respectivamente). En Cañete, en los tres cultivos, y en Barranca en maíz y yuca, la emisión promedio fue de 205 kg CO₂eq·ha⁻¹.

Aunque los fertilizantes son factores claves en las emisiones de N_2O (conocidas como emisiones directas), existen otros procesos de formación de N_2O que generan las denominadas emisiones indirectas (Butterbach-Bahl et al. 2013) -denominadas en este documento como empobrecimiento del suelo-. En las fincas de maíz en Cañete, se obtuvieron las mayores emisiones de N_2O asociadas en suelos. Esto se atribuyó a las aplicaciones de altos niveles de N y las mayores dosis de P y K (este último nutrimento existente en altas cantidades en el suelo). A nivel de fincas, la contribución de las emisiones de GEI por esta fuente representó el 25 por ciento de la HC total del maíz. Las fincas de camote de Barranca también produjeron alto N_2O por empobrecimiento de suelos, equivalente al 20 por ciento de la HC estimada para este cultivo. Se considera la importancia de la cuantificación de las emisiones de N_2O para evaluar la eficiencia del uso del nutriente N con relación al equilibrio entre los aportes y la demanda por parte de los cultivos y su impacto en la contaminación atmosférica (Moran et al. 2011). Estas emisiones de N_2O pueden ser variables dependiendo de las condiciones de humedad el suelo, la mineralización de N y la vegetación existente, lo que explica parcialmente su variabilidad por efecto del sistema de labranza, reportándose hasta 800 N_2O ($kg\ CO_2eq\cdot ha^{-1}$) en la producción de maíz mecanizado (Mosier et al. 1991; Marquina et al. 2015). Nyakatawa et al. (2011), no encontraron correlaciones significativas entre las emisiones de N_2O del suelo y las condiciones de humedad.

Todos los agricultores de yuca de Barranca y Cañete indicaron que el 10 por ciento de la parte aérea son reservadas como material vegetativo (estacas semillas) y el resto son quemados, emitiendo CH_4 y N_2O por la combustión. Esta práctica es realizada luego de las cosechas como método de limpieza de los campos. La razón es que existe un control directo de plagas y enfermedades presentes en el follaje de las plantas. Además, el 20 por ciento de agricultores de camote y yuca encuestados en Cañete indicaron que incorporan 7 $Mg\cdot ha^{-1}$ de gallinaza, causando emisiones de 383 CH_4 ($kg\ CO_2eq\cdot ha^{-1}$), el cual es transformado por oxidación directa en la digestión anaerobia, posterior a la fase aeróbica como es manejada la gallinaza antes de su incorporación al suelo. Se ha documentado que la mala gestión de desechos de animales en los suelos aumenta las emisiones de GEI, principalmente CH_4 y N_2O (Sharpe et al. 2004; Halvorson et al. 2008). Se encontró una relación significativa entre la densidad aparente con la actividad microbiana del suelo bajo diferentes niveles de labranza (Hanson y Hanson 1996; Schimel y Gullledge 1998; Nyakatawa et al. 2011). La HC obtenida

en la producción de yuca, reveló que la fuente de emisión quema de residuos y NH_4 por el manejo del estiércol, contribuyen al impacto ambiental por las emisiones de GEI (WB 2013). Es conocido que la quema se constituye en fuente de emisión de GEI (Worldwatch Institute 2004; Johnson et al. 2007; Smith et al. 2007). Se ha reportado que los suelos del este de los Estados Unidos (cinturón del maíz), que recibieron estiércol continuamente fueron emisores de CH_4 (Hernández-Ramírez et al. 2009).

2.4.2.3 ESTIMACIÓN DE LA HC POR CULTIVO A NIVEL DE FINCAS

Es importante comparar las HCs resultantes de la producción de maíz, camote y yuca por cultivo a nivel de fincas. Para ello, se asume que los gastos energéticos y la emisión de CO_2 son producidos a nivel de unidades agrícolas. Se estimó que, en las parcelas de referencia de maíz, camote y yuca, en La Molina, la energía directa utilizada fue de 1395, 901 y 1465 MJ, respectivamente. Por el suministro de agua de riego durante el ciclo de toda la cosecha de maíz (6500 m^3), camote (2000 m^3) y yuca (7000 m^3), el gasto energético respectivo fue de 165.75, 65.63 y 185.41 kWh. En Barranca y Cañete el sistema para suplir de agua para riego es por gravedad y los agricultores no poseen informaron. Por lo tanto, se recurrió a los directivos de sus juntas de usuarios de riego y se estimaron los gastos energéticos considerándose en el análisis de la HC. La HC_i obtenida en las parcelas de maíz de La Molina y Cañete fueron 155 y 184 $\text{kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 8). En las fincas de maíz en Barranca, la HC más alta ($3333 \text{ CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $290 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$). En cuanto a las emisiones por la fuente aplicación de fertilizantes en maíz, las contribuciones en Barranca, La Molina, y Cañete fueron 44 por ciento, 39 por ciento y 34 por ciento, respectivamente. Las HCs calculadas en el sistema de producción convencional de maíz, en los tres sitios, reflejaron la intensidad de las prácticas agronómicas basadas en el alto y continuo uso de agroquímicos, especialmente la fertilización nitrogenada. La HC_i resultante en maíz es menor que en La Pampa, Argentina, donde se reportó una HC_i de $300 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$ (Woerishofer 2011; Frank et al. 2014). En el caso de la producción de camote, por los altos rendimientos registrados en las fincas de Barranca se estimaron las menores HC_i ($81 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$), y en La Molina, $90 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$ (a su vez, obtuvo el menor HC_{ha} de $1306 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$), en comparación con las fincas de Cañete, que presentó la HC_i ligeramente más alta, de $98 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$. Esto fue debido que en las parcelas de camote en La Molina se implementó el manejo integral del cultivo de camote, sin embargo, se registraron los

menores rendimientos comerciales. Las HCs obtenidas en la producción de camote se compararon con los reportes de Filipinas que varían desde 23 hasta 95 kg CO₂eq·Mg⁻¹ (Flores et al. 2016).

En las parcelas de referencia de yuca en La Molina, se estimaron las HCs más bajas de 24 kg CO₂eq·Mg⁻¹ y 924 kg CO₂eq·ha⁻¹. Esta HC fue 5.2 veces menor que la HC obtenida en las fincas de Barranca y 3.3 veces que en Cañete. Como comparador del HC_i obtenido de la producción de yuca, se utilizó el informe de Nigeria de 105 kg CO₂eq·Mg⁻¹ (WB 2013). Las unidades de producción de yuca en Barranca superaron ligeramente a la HC reportada en la literatura; Por lo tanto, no se consideran altos emisores de GEI. Richards et al. (2016), confirman la validez de las estimaciones de HC en los tres cultivos básicos en todas las fincas dependientes de grandes cantidades de insumos, por medio del modelo CFT en zonas desérticas y clima templado. A su vez, sugieren la obtención de meta datos en climas tropicales. Coinciden con Milne et al. (2013), los cuales señalaron que para reducir las incertidumbres en la estimación de GEI, se necesitan estudios cuantitativos en diversos tipos y prácticas de manejo de suelos por región climatológica.

2.4.2.4 HC TOTAL, GASTO ENERGÉTICO POR ACTIVIDADES DE CULTIVOS Y TRANSPORTE

El resumen de las estimaciones promedio de la HC del ensayo en La Molina y las fincas en la costa central del Perú se presentan en el Cuadro 8. El modelo CFT asumió que el transporte de los productos de cosecha es pagado por la agroindustria de alimentos y comercializadores, por lo tanto, la emisión de GEI se atribuye a estos sectores. Si los agricultores deben cubrir los gastos de transporte de cosechas y las respectivas emisiones de CO₂ (escenario que prevalece en los sistemas de producción agrícola en Latinoamérica), se debe contemplar que en Barranca los granos secos de maíz son transportados a granel desde las unidades agrícolas en vehículos pesados de motor diésel con cargas superiores a 3.5 Mg hasta las empresas avícolas en la provincia de Huaura, con distancias de 18 a 30 km. En Cañete son transportados a la provincia de Chincha con variaciones en la distancia desde las unidades agrícolas de 37 a 63 km. Por las actividades agrícolas en campo y el transporte registradas en maíz, se estimó que la energía utilizada en Barranca y Cañete, fueron de 1461 y 838 MJ, respectivamente. Los gastos energéticos respectivos de la producción de camote en Barranca

y Cañete fueron estimados en 917.79 y 704.50 MJ. Para la producción comercial de yuca en Barranca y Cañete se estimó el gasto energético de 779 y 838 MJ, respectivamente. Chaparro et al. (2005), calcularon el uso energético para la labranza convencional del maíz en el Valle de Cauca en Colombia de $3634 \text{ MJ}\cdot\text{Mg}^{-1}$. Como comparativo, reportaron gastos energéticos para la producción de arroz de 11508 MJ y 2657 MJ para trigo en labranza convencional.

En las parcelas de referencia, la energía utilizada para el cultivo de maíz en La Molina fue $95 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$, comparado a Barranca y Cañete que registraron 103 y $59 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. En camote las emisiones de La Molina ($62 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$), fueron menores que en las fincas de Cañete y mayores que en Barranca. En yuca, las parcelas de referencia obtuvieron mayores emisiones ($100 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$) que las provincias. Las emisiones promedio estimadas en maíz, camote y yuca, por el transporte de productos desde Barranca a los mercados locales o hacia Lima, fueron 185, 3503 y $2374 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Y desde Cañete promedios de 334, 2348 y $2287 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. La contribución adicional -por el transporte- a las emisiones promedio de las fincas de maíz, camote y yuca de Barranca, resultó en HC_i de 306, 221 y $258 \text{ kg}\cdot\text{CO}_2 \text{ eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$; y HC_{ha} respectivas de 3518, 5518 y $4638 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$. Las emisiones de Cañete resultaron en HC_i de 215, 187 y $167 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$, y HC_{ha} de 2309, 4908 y $4213 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$, en maíz, camote y yuca; respectivamente.

En Barranca y Cañete el 90 por ciento de las cosechas de camote y yuca es transportado al gran mercado mayorista de Lima, cuyas distancias desde Barranca son de 182 a 216 km y desde Cañete de 155 a 177 km. El resto de las cosechas es consumido en los restaurantes locales. En este sentido, las mayores emisiones de GEI se estimaron por el transporte de las raíces comerciales de camote y yuca en Barranca, con 3503 y $2374 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Estas HC resultantes por cultivo están relacionadas al sistema intensivo de producción mecanizado, caracterizado por un alto gasto energético y por las mayores distancias de las unidades productivas a las empresas avícolas consumidoras de granos secos de maíz y al gran mercado mayorista de Lima. En el caso de maíz en Barranca, la HC_i total resultante fue de $306 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$ (incremento de la HC en $20.17 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$ por el transporte). Las HC resultantes en los sistemas de producción y transporte de raíces de almacenamiento de camote y yuca desde las unidades agrícolas de Barranca fueron de 221.25 y $258 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$, respectivamente (incrementos respectivos de la HC por el transporte

de 132 y 140 kg CO₂eq·Mg⁻¹). En Cañete las HC resultantes en estos cultivos fueron de 187 y 167 kg CO₂eq·Mg⁻¹; cuyos incrementos de las HC por la fuente de emisión transporte fueron de 89 y 88 kg CO₂eq·Mg⁻¹. Haverkort y Hillier (2011), reportaron que en la producción de papa la actividad de transporte incrementó la HC hasta 12.5 kg CO₂eq·Mg⁻¹. Asimismo, las HC difieren según el sistema de utilización de recursos energéticos como el fertilizante químico y el combustible diésel (Flores et al. 2016). En la actividad agrícola en La Molina se debe considerar las menores distancias desde las fincas productivas hasta los centros de distribución final de las cosechas (Lima Metropolitana). El beneficio ambiental directo es la menor HC_i total resultante en las parcelas de maíz, camote y yuca con 155, 90 y 24 kg CO₂eq·Mg⁻¹, respectivamente.

Los mayores aportes a la HC final en las parcelas de La Molina fueron por las fuentes de producción y aplicación de fertilizantes en los cultivos de yuca y maíz (64 por ciento y 44 por ciento, respectivamente), y la contribución de la producción de fertilizantes en el camote fue de 43 por ciento. Las unidades agrícolas de yuca en Barranca y Cañete por la aplicación de fertilizantes fueron de 58 por ciento y 40 por ciento, respectivamente. Por la cantidad y la frecuencia de las aplicaciones de plaguicidas, las parcelas de maíz en La Molina contribuyeron con la menor emisión de 6 por ciento y las mayores emisiones respectivas en camote y yuca con 16 por ciento y 15 por ciento. Por el empobrecimiento de suelos no se registró emisiones en las parcelas de camote y yuca en la Molina. Las mayores emisiones se obtuvieron en las fincas de maíz en Cañete (25 por ciento), y camote en Barranca (20 por ciento). En las fincas de camote y yuca, de Cañete, el NH₄ por la aplicación de gallinaza, contribuyó con promedios respectivos de 8 por ciento y 10 por ciento. Con relación a la práctica de quemar residuos de plantas de yuca después de la cosecha, en Barranca y Cañete, su contribución a la HC total fueron de 6 por ciento y 10 por ciento, respectivamente.

Los promedios respectivos de HC_i en maíz, en La Molina, Barranca y Cañete, fueron de 155, 290 y 184 kg CO₂ eq·Mg⁻¹; y HC_{ha} promedio de 1764, 3333 y 1975 kg CO₂eq·ha⁻¹. Para camote las HC_i fueron de 90, 81 y 98 kg CO₂ eq·Mg⁻¹; y HC_{ha} de 1306, 2015 y 2560 kg CO₂eq·ha⁻¹. Y en yuca, con HC_i promedios respectivos de 24, 126 y 79 kg CO₂eq·ha⁻¹; y HC_{ha} de 924, 2264 y 2026 kg CO₂eq·ha⁻¹. Se confirmó que los fertilizantes en la agricultura pueden ser considerados como la fuente antropogénica más importante de emisión de N₂O. Los plaguicidas solos y en mezclas contribuyen en forma significativa a las emisiones de

GEI, con consecuencias negativas directas en la inocuidad de alimentos, alterando el equilibrio ambiental y causando contaminación ambiental. Basándose en el reporte de las emisiones de GEI del 2013 del sector agropecuario nacional (SEEG 2014), la HC total calculada en los cultivos de maíz, camote y yuca en la costa central de Perú representó el 2.3 por ciento de las emisiones totales. Los cultivos de maíz, camote y yuca contribuyeron con 0.83 por ciento, 0.71 por ciento y 0.77 por ciento de la HC nacional, respectivamente. En las estadísticas nacionales oficiales no se ha reportado esta información específica por cultivos de importancia económica.

2.4.3 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE PRÁCTICAS DE MITIGACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

El cálculo de la HC por sistema de cultivo es un aporte valioso para una política eficiente y gestión de la sustentabilidad para afrontar el CC. La gestión de procesos a nivel organizativo fortalece la mitigación de emisiones de GEI. El modelo CCAFS-MOT contempla opciones de mitigación por sistemas de producción, sin afectar la capacidad de producción por cultivo, con reducción energética de los combustibles fósiles y, por consiguiente, reducción del impacto ambiental y la conservación de los recursos energéticos no renovables (IPCC 2007; Andrade et al. 2008; IFA 2009; Olivet et al. 2012; Herrero et al. 2013; IPCC 2013; Benites y Bot 2014). Las mejores prácticas de mitigación resultantes fueron consultadas con los agricultores para determinar la factibilidad práctica de su implementación con la finalidad de transformar una posible amenaza en una oportunidad (Cuadro 9). Se conformaron escenarios de producción de maíz, camote y yuca, basados en las mejores propuestas de mitigación; a saber; i) incorporación de residuos agrícolas para mejorar la fertilidad de suelos (utilizada solo en algunas unidades productivas de Barranca); ii) la aplicación de abonos orgánicos sometidos a sistemas previos de preparación para uso como enmienda o proporcionar nutrientes a los suelos agrícolas y mejorar la retención de agua, cuya implementación requiere la correlación reportada por Nyakatawa et al. (2011); quienes determinaron que los suelos con alta humedad se tornan en emisores netos de CH₄ y con menor humedad en sumideros de CH₄; iii) la labranza mínima que consiste en un solo pase de rastra semi pesada para la preparación de terreno; y iv) uso de inhibidores de nitrificación. Se estimó un bajo potencial de reducción de emisiones por la acumulación de nitratos en el suelo debido al uso de abonos nitrogenados con inhibidores de nitrificación. El máximo de

reducción de la HC se estimó en yuca, con promedio de las dos provincias, de 104 kg CO₂eq·ha⁻¹ (4 por ciento de reducción). Haverkort y Hillier (2011), indicaron que, con el uso de inhibidores de nitrificación en la producción de papa, la reducción de la HC no superó el 5 por ciento. Estos compuestos químicos evitan que el NH₄ se transforme en NO₂ y finalmente en NO₃ (Akiyama et al. 2010). Estos fertilizantes están disponibles en el mercado peruano a bajos costos.

Cuadro 9: Opciones de estrategias de mitigación de HC en la producción mecanizada de maíz, camote y yuca. Parcelas de referencia en La Molina y fincas de Barranca y Cañete. Perú.

Cultivos	Prácticas de mitigación (reducción: kg CO ₂ eq ha ⁻¹)				
	HC de referencia (kg CO ₂ eq ha ⁻¹) *	Inhibidor de Nitrificación	Labranza Mínima	Fertilizante Orgánico	Incorporación de Residuos
Maíz					
La Molina	1669	11	107	200	504
Provincias	2264	43	138	258	181
Camote					
La Molina	1244	16	107	200	
Provincias	2284	48	122	226	
Yuca					
La Molina	824	4	107	200	
Provincias	2326	104	150	255	

*Valores promedio de La Molina, Barranca y Cañete (no incluye el uso de energía en campo ni transporte).

En las parcelas de La Molina, por cada opción seleccionada, la capacidad de reducir las emisiones totales por cultivo varía; es decir, en el maíz, el promedio de HC se reduce de 1669 a 1562 kg CO₂eq·ha⁻¹, debido a la labranza mínima que rotura el suelo de 20 a 30 cm de profundidad o elimina parcialmente las malezas presentes en el terreno. Con esta práctica, se ha registrado reducciones de hasta 19 por ciento en los costos de preparación de terreno, el grado de compactación del suelo, reducción del riesgo de erosión y gasto energético (Gordón 2001; Benites y Bot 2014; Marquina et al. 2015). Si se generaliza la incorporación de residuos de plantas de maíz por la cosecha mecanizada, la reducción de la HC sería de hasta 1165 kg CO₂eq·ha⁻¹. Pero, al utilizar fertilizantes inhibidores de nitrificación, la labranza mínima, fertilizantes orgánicos e incorporar los residuos agrícolas, la HC se reduce en 49 por ciento. Un escenario práctico se conformó en los cultivos de camote y yuca al implementar la labranza mínima, utilizando fertilizantes inhibidores de nitrificación y

fertilizantes orgánicos, las HC promedios de 1244 y 824 kg CO₂eq·ha⁻¹ se reducen hasta 920 y 513 kg CO₂eq·ha⁻¹, respectivamente (reducción de 26 por ciento y 38 por ciento). En las unidades agrícolas de maíz, camote y yuca en Barranca y Cañete, con todas las medidas de mitigación, el promedio de la HC total se reduce en un 27 por ciento, 17 por ciento y 22 por ciento, respectivamente.

2.5 CONCLUSIONES

Las parcelas experimentales de referencia establecidas en La Molina y el ensamblaje de los modelos CCAFS-MOT y CFT, permitieron estimar con mayor precisión las HCs por cultivo. Al comparar los sistemas de producción de cultivos a nivel de fincas, independientemente de la fuente de emisión transporte, las menores HC fueron estimadas en las parcelas de maíz y yuca, en La Molina. En el cultivo de yuca, con HC_i de $24 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$, hubo reducciones de hasta 5.2 veces el promedio de la HC en Barranca. Como se evidenció en Perú y muchos otros países donde la cadena agroalimentaria involucra el transporte de cosechas, la menor HC calculada se obtuvo en las parcelas de yuca en Cañete, con $167 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$ y la mayor se obtuvo en las unidades productivas de maíz en Barranca, con $306 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{Mg}^{-1}$, cuya cosecha es transportada hacia las empresas de procesamiento de alimentación animal. Las principales fuentes de emisiones de GEI en los cultivos fueron la producción de fertilizantes en yuca, en La Molina, con 64 por ciento (de $\text{kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$), y su aplicación con un aporte promedio de hasta 58 por ciento en las fincas de Barranca. Se confirmó la importancia de este insumo en la agricultura. En el ámbito nacional, la HC calculada en conjunto para estos cultivos representó 2.3 por ciento de las emisiones por el sector agrícola. Las emisiones pueden reducirse con intervenciones tecnológicas consensuadas con los agricultores, con énfasis en las medidas de mitigación con potencial individual, como la labranza mínima, incorporación de residuos agrícolas, uso de fertilizantes orgánicos procesados e inhibidores de la nitrificación. Por su aplicación, se construyen escenarios sustentables sin afectar la capacidad de producción de los cultivos. Además, mejoran la eficiencia energética y reducen la HC. La tendencia en la costa peruana es hacia el aumento en la producción de maíz, camote y yuca, debido al aumento de la superficie sembrada, altos rendimientos de los cultivos mejorados, manejo agronómico tecnificado, la disponibilidad de agua y, sobre todo, por el alto consumo humano y animal. Las encuestas realizadas *in situ* demostraron que en la costa peruana prevalece el sistema de producción mecanizada, dependientes de fertilizantes sintéticos y de plaguicidas. Los escenarios de producción con las medidas de mitigación simuladas por el modelo CCAFS-MOT deben ser evaluados en el campo, integrando el clima, suelo y los cultivos. También, los modelos utilizados en este estudio son fáciles de aplicar para la estimación de HC en condiciones de finca, y pueden ser utilizados por los agricultores, extensionistas y tomadores de decisión.

CAPÍTULO III

PERCEPCIÓN DEL FUTURO DE LOS DRONES EN LA AGRICULTURA: ANÁLISIS CUALITATIVO DE UN PANEL DE EXPERTOS AGRÍCOLAS

3.1 RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la influencia de la percepción de un panel de expertos agropecuario sobre el futuro de los drones en la agricultura y la conformación de comunidades de práctica relacionadas a los drones en la agricultura. Se realizó una encuesta digital dirigida a expertos internacionales en el sector agropecuario pertenecientes a instituciones de investigación, universidades, de apoyo agropecuario y agricultores líderes de Costa Rica (2), Ecuador (4), Nicaragua (1), Panamá (23) y Perú (15). El 26 por ciento eran mayores de 50 años, con grado académico de licenciatura hasta doctorado. Se percibió la actitud positiva hacia los drones y la habilidad en su manejo. Manifestaron que les gustaría que los drones les ayuden en detectar la sanidad de los cultivos, en las estadísticas de áreas de producción y la predicción de rendimientos. Se constató el alto uso de los medios de comunicación disponibles sobre los drones. El 93 por ciento manifestó interés en la capacitación y al 30 por ciento le gustaría conformar una comunidad de práctica sobre los drones. La percepción sobre el futuro de la percepción remota en la agricultura se asoció con los conocimientos básicos sobre los dispositivos del dron, la utilidad de la percepción remota en sus trabajos y su preferencia a otras tecnologías. La opinión de conformar una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura, es favorecida por los conocimientos de los dispositivos del dron, el interés en el uso de drones en sus actividades y la capacitación. Sin embargo, no están completamente identificados con el proceso de aprendizaje grupal, ni compartir la información que se genera sobre la percepción remota en la agricultura.

Palabras claves: comunidad de práctica, percepción remota, actitud, habilidad, empoderamiento.

3.2 INTRODUCCIÓN

En la dimensión social la tecnología que es percibida como nueva para un productor u organización, con un uso potencial para resolver problemas en la agricultura, se considera una innovación (Rogers 1995). Para su adopción es importante que en el proceso de generación se contemple el enfoque participativo, a fin de interactuar con los principales actores y socios e integrar el concepto de indicador social (Ortiz y Pradel 2009). En los indicadores sociales contemplados en la innovación se considera el nuevo conocimiento, persuasión, decisión y la confirmación para adoptarla. Además, la complejidad de la tecnología, las habilidades requeridas y la actitud en términos de confianza, cooperación, participación y ética (Méndez 2006). Con relación al uso de la percepción remota con dispositivos de bajo costos para la captación de datos en cultivos, es necesario evaluar el conocimiento individual y organizacional. Con frecuencia, las tecnologías que tienden a promover el desarrollo sustentable fracasan por no consultar a los agricultores. No se les considera en la toma de decisiones; por lo tanto, no es reproducible en el espacio y no se dinamiza en el tiempo (Brindley 1991; Frankenberger et al. 1999; Masera et al. 1999). *The Economist Journal* (2017), se refirió a este aspecto social, basándose en que el sector agropecuario está muy fragmentado, con muchos subsidios y distorsiones comerciales. Se indicó que ciertos aspectos del capital social –derivado del uso de drones- no benefician directamente a los agricultores.

Es importante analizar las dimensiones del proceso de decisión de la innovación, las categorías de adoptantes y el ritmo de adopción dentro del sistema social, en función del periodo transcurrido desde la generación tecnológica (Pérez y Terrón 2004). Para el logro de los cambios e impactos esperados por la implementación de la técnica de percepción remota en cultivos, se debe realizar consultas y analizar -enfoque de medios de vida sostenibles- los impactos en el capital humano (cambios en conocimientos, actitudes, habilidades, empoderamiento y autoestima) y en el capital social (cambios en acceso a información, organización grupal, contactos, otros) (Chase y Alvarez 2000; Ortiz y Pradel 2009; Henríquez y Li Pun 2013). También las personas adoptan las tecnologías beneficiosas cuando se sienten motivadas a aprender (Douthwaite 2002). Una de las principales razones por la que las personas se organizan se debe al deseo del aprendizaje, a través de redes, grupos temáticos y tecnológicos, entre otros. Sin embargo, los grupos de personas que

participan en un proceso del aprendizaje colectivo en un dominio compartido del esfuerzo humano, se les conoce como comunidades de práctica, cuyo concepto surgió de la teoría del aprendizaje (Wenger et al. 2002). Es decir, se comparte la preocupación o pasión por algo que hacen y aprenden a realizarlo mejor, ya que interactúan periódicamente (Wenger 2011; Webber 2016). En este estudio se planteó que la percepción de un panel de expertos en el sector agropecuario sobre el futuro de los drones en la agricultura facilita la implementación correcta y permanente de la percepción remota en la agricultura. Por lo tanto, el objetivo fue determinar la influencia de la percepción de un panel de expertos agropecuario sobre el futuro de los drones en la agricultura y la conformación de comunidades de práctica relacionadas a los drones en la agricultura.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

La primera actividad consistió en la identificación y selección de usuarios potenciales de las herramientas de la percepción remota en la agricultura. Estos fueron investigadores que a su vez son gerentes de proyectos de investigación e innovación y catedráticos universitarios (en la facultad de agronomía respectiva), autoridades de instituciones de extensión, créditos y seguros agropecuarios, y líderes de productores de cultivos básicos. Posteriormente, en los meses de febrero y marzo de 2017, se realizaron 45 encuestas dirigidas a estos expertos en el sector agropecuario de Costa Rica (2), Ecuador (4), Nicaragua (1), Panamá (23) y Perú (15). Para ello, se utilizó la herramienta digital gratuita Google Forms® y se les instruyó que no se obtuviera información paralela, siendo realista con sus actividades y situación del área de trabajo. Las encuestas captaron información cualitativa general de los encuestados (edad, sexo, grado académico e institución de trabajo). Los indicadores para medir los impactos de la percepción sobre el uso de los drones en la agricultura fueron el conocimiento base sobre el uso de drones, de los dispositivos de la percepción remota, el uso potencial e interés por los drones en la agricultura. Además, del acceso a información, capacitación y el interés por la creación y pertenecer a una comunidad de práctica. La encuesta se conformó de 18 preguntas con respuestas de texto y de selección múltiple con respuestas únicas (ANEXO 13).

Para los análisis estadísticos se clasificaron las variables que conformaron la encuesta (Cuadro 10). Se utilizaron los siguientes paquetes estadísticos del programa R: análisis de correspondencia simple *ca()*, análisis multivariado para la selección de variables utilizando *Random Forests* *VSURF()*, *path analysis()*, análisis discriminante lineal *lda()* y *factor analysis fa()* (de Mendiburu 2016).

Cuadro 10: Clasificación de las variables consideradas en la encuesta aplicada a expertos agrícolas internacionales.

Variable	Código	Tipo	Relación
Edad	V1	jerárquico	independiente
Sexo	V2	nominal	independiente
Nivel académico	V3	jerárquica	independiente
Organización a la que pertenece	V4	nominal	independiente
Conocimientos del uso de drones	V5	nominal	independiente
Conocimientos de los dispositivos del dron	V6	jerárquico	independiente
Medio que se enteró del uso de drones en la agricultura	V7	nominal	independiente
Interés en el uso de drones en sus actividades	V8	jerárquica	independiente
Utilidad de la percepción remota en su trabajo	V9	nominal	independiente
Característica más importante del dron	V10	nominal	independiente
Las herramientas de percepción remota son fáciles de usar	V11	nominal	dependiente
Elemento relacionado a la percepción remota	V12	nominal	dependiente
Aspectos que le gustaría que el uso de drones le ayude	V13	nominal	independiente
Interés de capacitación en la tecnología de percepción remota	V14	nominal	independiente
Futuro de los drones en la agricultura	V15	nominal	dependiente
Preferencia sobre otras tecnologías	V16	nominal	dependiente
Recomendaría el uso de drones a colegas	V17	nominal	dependiente
Comunidad de práctica sobre drones en la agricultura	V18	nominal	dependiente

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE USUARIOS POTENCIALES DE LOS DRONES

El 26 por ciento de los expertos consultados tienen más de 50 años de edad, donde el 84 por ciento son hombres (Figura 8). El 16 por ciento poseen el grado académico de doctor, de licenciatura y maestría (ambos con 42 por ciento). Se destacó que el 47 por ciento labora en una institución de investigación, el 24 por ciento en universidades. También, indicaron que son directivos de una asociación de agricultores y que laboran en una institución de extensión agropecuaria (11 por ciento para cada caso). Con este perfil de los encuestados se confirmó que el panel de expertos seleccionados, posee gran experiencia en investigación (institutos de investigación y universidades), liderazgo y con capacidad técnica-gerencial para opinar sobre los drones en la agricultura.

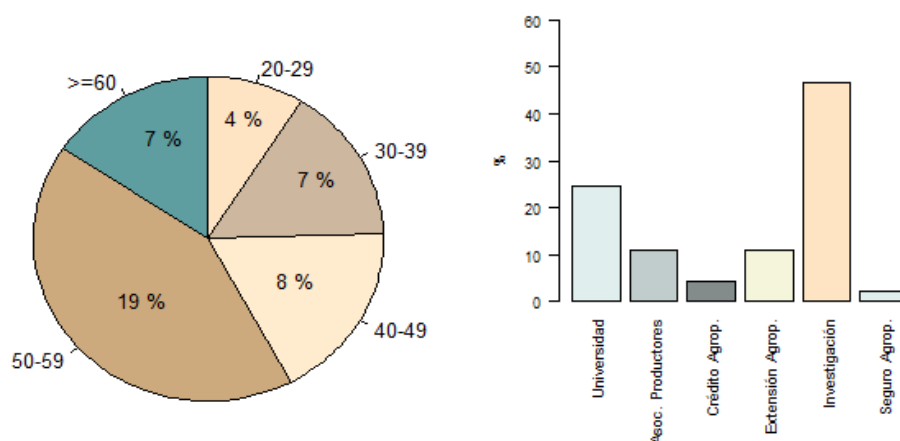


Figura 8: Distribución de la edad y organización a la que pertenecen los expertos encuestados.

3.4.2 PERCEPCIÓN SOBRE EL USO POTENCIAL DE LOS DRONES EN LA AGRICULTURA

En el análisis cualitativo de las encuestas fue evidente la actitud positiva hacia los drones, donde se manifestó el gran interés por el uso de esta herramienta tecnológica en sus actividades (49 por ciento), y la habilidad manifiesta, ya que consideraron que son fáciles de utilizar (80%). Se percibió conocimientos adecuados sobre los drones, ya que manifestaron

que las características del dron que consideraron más importantes, fueron los dispositivos acoplados al dron (31 por ciento de encuestados), la autonomía de vuelo (22 por ciento) y el precio de los mismos con 20 por ciento. Solo cuatro expertos señalaron el tamaño del dron (Figura 9). A pesar que todos los elementos consultados conforman la percepción remota, la mayoría lo relacionaron con la interpretación y análisis de imágenes (60 por ciento), seguido de la transmisión, recepción y procesamiento (20 por ciento). Manifestaron que los principales aspectos que le gustaría que el uso de drones les ayude fueron: detectar la sanidad de los cultivos (42%), la estimación de áreas de cultivos y rendimientos con 22 por ciento y 20 por ciento, respectivamente. Estos resultados son coherentes con el reporte de *The Economist Journal* (2017), al identificar que en el futuro próximo la agricultura y la medición de la salud de los cultivos, son un prometedor mercado para los drones comerciales. Para la caracterización de los suelos e identificación de cultivos el 9 por ciento y 7 por ciento, respectivamente (Figura 7). Se constató la motivación y confianza en el uso de los drones en la agricultura.

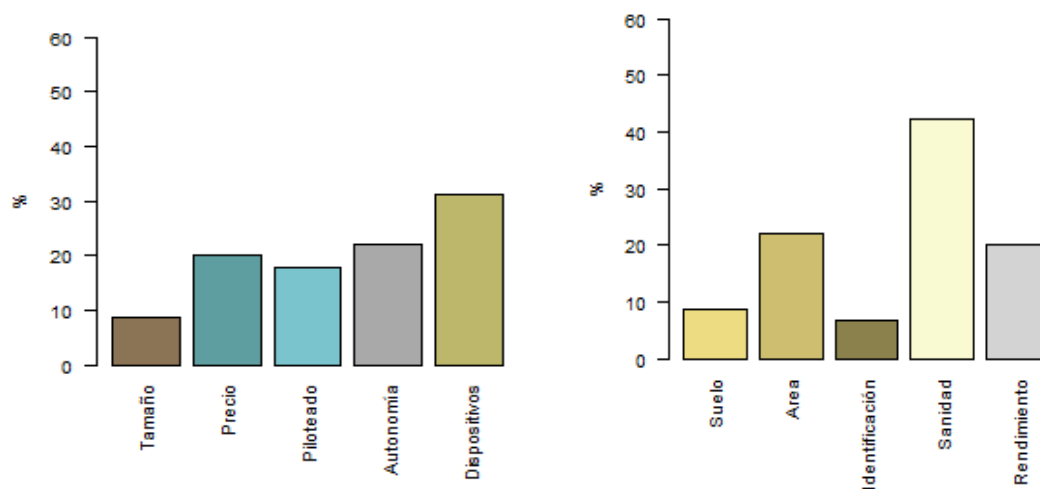


Figura 9: Características del dron y aspectos de apoyo en las actividades del panel de expertos.

Se demostró la disponibilidad y diversidad de medios de acceso a la información especializada. El 44 por ciento indicó que se enteró del uso de drones por medio del internet y el 24 por ciento, por las exposiciones científicas y de divulgación. Además, indicaron que se enteraron de los drones por medio de mensajes y noticias en revistas y artículos científicos (18 por ciento). También la televisión fue un medio audiovisual informativo de esta tecnología (13 por ciento). El 93 por ciento manifestó interés en capacitarse en la tecnología

de percepción remota y al 30 por ciento le gustaría conformar una comunidad de práctica de apoyo a la percepción remota en la agricultura.

3.4.3 FUTURO DE LOS DRONES EN LA AGRICULTURA

Según la información recibida de la opinión del panel de expertos se determinó -con la prueba χ^2 - que los criterios más importantes para determinar el futuro de los drones en la agricultura (V15), están asociados a los conocimientos básicos sobre los dispositivos del dron (V6) ($p=0.03$), y con la utilidad de la percepción remota en sus áreas de trabajo (V9) ($p=0.03$). Según *V' Cramer* (Franz 2006; Cramer 2016), el grado de asociación entre estas variables fueron de 0.38 y 0.32, respectivamente. Es decir; el panel de expertos determinó que el futuro de la percepción remota está ligado no solamente a los drones, conocidos como UAV (acrónimo del español – Vehículo Aéreo No Tripulado), sino a su equipamiento completo y por los objetivos planteados en los trabajos que contemple el uso de drones. El análisis multivarial, -por medio del método de *Random Forests*- permitió seleccionar de un conjunto de variables cualitativas independientes las más importantes para identificar y explicar la opinión de los expertos agrícolas sobre la aplicación futura de los drones en agricultura. De los criterios seleccionados que dan mayor información fueron la utilidad de la percepción remota en sus trabajos (44.7 por ciento), mayor preferencia a otras tecnologías (33.6 por ciento), y el nivel académico del encuestado (21.8 por ciento). El error aparente de la validación cruzada, en función del análisis discriminante fue de 6.7 por ciento, el cual brindó confianza a esta determinación (Genuer et al. 2010, 2015).

En las Figuras 10 y 11, se representó la contribución directa e indirecta de las variables independientes sobre una dependiente (método *path-analysis*, considerado una extensión del modelo de regresión múltiple). Los efectos o magnitud de las variables fueron indicados por el coeficiente *path* (coeficientes de regresión parcial) y unidos por flechas cuyo sentido indica la dirección de la relación (Stage et al. 2004; Singh y Chaudhary 2007; Pérez et al. 2013). Los mayores efectos directos positivos sobre la opinión del futuro de los drones en la agricultura (variable dependiente), fueron la utilidad de la percepción remota en sus trabajos (0.32), el grado académico (0.24), interés en el uso de drones en sus actividades (0.15), y su preferencia por el uso de los drones a otras tecnologías (0.17). Este comportamiento coincidió con los resultados del método de *Random Forests*. Sin embargo, los pocos

conocimientos de los dispositivos acoplados al dron afectaron ligeramente la percepción del futuro de los drones en la agricultura (-0.13). Esta percepción se confirmó por la necesidad manifiesta de capacitación sobre la tecnología de percepción remota (-0.18). La mayor influencia indirecta del futuro de los drones en agricultura, se relacionó con el gran interés señalado por los encuestados por el uso de drones en sus actividades, a través de la utilidad percibida de la percepción remota en sus trabajos (0.20). El error residual (r) del conjunto de relaciones causales fue de 0.82 (Figura 10).

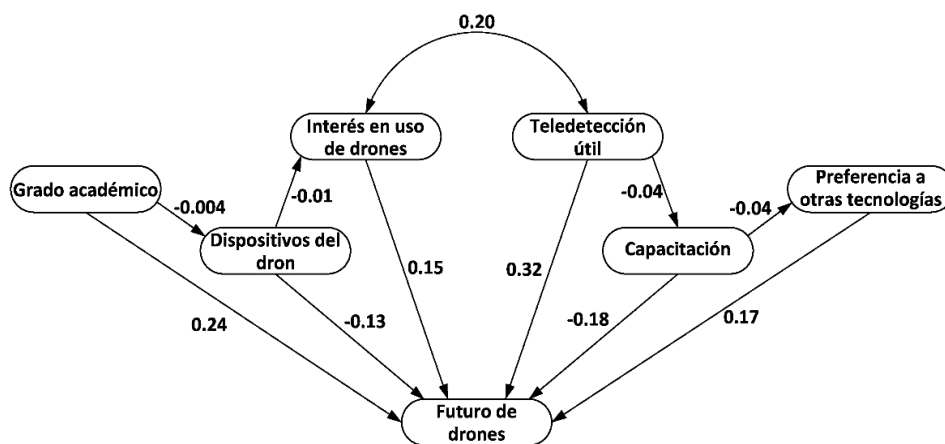


Figura 10: Percepción de los expertos sobre el futuro de los drones en la agricultura.

3.4.4 CONFORMACIÓN DE UNA COMUNIDAD DE PRÁCTICA SOBRE LOS DRONES EN LA AGRICULTURA

Con relación a la opinión del panel de expertos hacia la conformación de una comunidad de práctica relacionada a los drones en la agricultura, en el gráfico de *path-analysis*, se mostró que los efectos directos positivos fueron los conocimientos básicos de los dispositivos del dron (0.31), el deseo de capacitarse en percepción remota (0.26) y el interés por el uso de drones en sus actividades (0.22). Pero, a esta opinión se resistió levemente el alto grado académico (-0.07). Se coincide con Valdivia et al. (2014), al reportar que el personal altamente calificado no muestra interés en el proceso interactivo de aprender unos de otros (conocido como investigación traslacional). También es afectado levemente por el enfoque completamente técnico de que la percepción remota es útil en sus trabajos (-0.08), sin apreciar su competencia colectiva, y la preferencia por el uso de los drones a otras tecnologías (-0.18), sin visión organizativa. Estos leves efectos negativos reflejaron que a

pesar que la opinión de los expertos es hacia la conformación de comunidades de práctica, no están completamente identificados con el proceso de aprendizaje compartido sobre la percepción remota, a participar en actividades y debates grupales, en ayudarse unos a otros y compartir toda la experiencia e información que se genera sobre la percepción remota en la agricultura. El mayor efecto indirecto para la conformación de una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura, se relacionó con la utilidad de la percepción remota en sus trabajos, basado en el interés por el uso de drones en sus actividades (0.14). El error residual fue 0.81 (Figura 11).

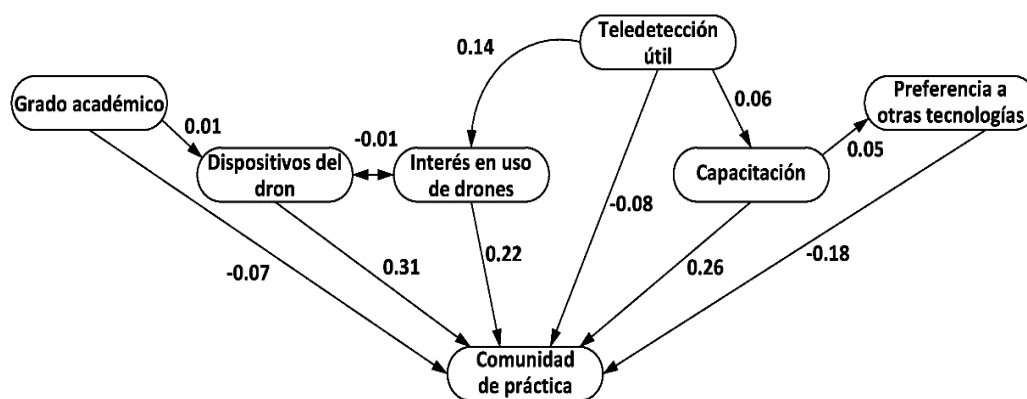


Figura 11: Percepción de los expertos sobre la conformación de una comunidad de práctica relacionada a los drones en la agricultura.

En el análisis de factores -exploratorio y confirmatorio- de la percepción de expertos obtenida de la encuesta, se estudió el comportamiento de las respuestas V15, V16 y V18 (variables dependientes), a través de las variables independientes V1, V5, V6, V8, V9, V10, V13 y V14 (Matsunaga 2010). Los grupos que se conformaron del análisis del mínimo residual, por medio de los factores mínimos encontrados, fueron los siguientes: i) la opinión de los expertos de pertenecer a una comunidad de práctica relacionada a los drones en la agricultura (0.4), son motivadas por el interés en el uso de drones en sus actividades (0.9), la utilidad de la percepción remota en sus áreas de trabajo (0.6), las características más importantes del dron (0.5), y el interés de capacitarse en la tecnología de percepción remota (0.4); y ii) el futuro de los drones en la agricultura y la preferencia por los drones a otras tecnologías (ambos con $r=0.5$), fueron influenciados por la edad de los encuestados (0.9) y por la convicción de los aspectos que le gustaría que el uso de drones les ayude -detectar daños en los cultivos, en la estadística de áreas de cultivos y predicción de rendimientos-

(0.3). Pero, son afectados por los pocos conocimientos del dron y sus dispositivos (cada uno con 0.4). Estos factores y su extensión, ratifican el interés de los encuestados por capacitarse en la tecnología de percepción remota.

El análisis de correspondencia entre los elementos relacionados a la percepción remota (▲) y el conocimiento de los dispositivos del dron (●), reflejó que, del 100 por ciento de correspondencia entre ambas respuestas, la primera dimensión representó el 89.7 por ciento; por lo tanto, la interpretación se realizó en forma horizontal (Blasius y Greenacre 1994; Greenacre y Pardo 2006). En la Figura 12, se presenta que en V6 el nivel 1 (ningún conocimiento de los dispositivos de los drones), tiene correspondencia con el nivel 2 de V12 (transmisión, recepción y procesamiento). Los expertos consultados que manifestaron tener algo de conocimiento (nivel 2), mostraron correspondencia con el nivel 3 (sensores remotos acoplados al dron) y con la interpretación y análisis de imágenes (nivel 4). Los expertos que tienen amplios conocimientos de los dispositivos (nivel 3), no relacionaron la fuente de energía solar (nivel 1), como un elemento importante de la percepción remota. Los resultados son coherentes con lo esperado de las nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura de precisión, y considerando que los encuestados pertenecen al área agrícola, no se requiere ser un experto en la tecnología de la percepción remota -y drones- para desear utilizarla como apoyo en las labores agronómicas y manejo de los cultivos.

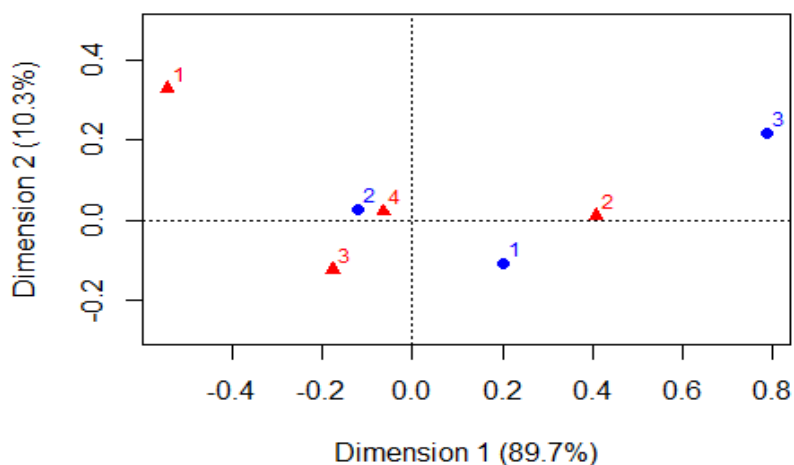


Figura 12: Análisis de correspondencia entre los elementos relacionados a la percepción remota (▲) y el conocimiento de los dispositivos del dron (●).

3.5 CONCLUSIONES

Se captó en la percepción del panel de expertos, la actitud positiva hacia los drones en la agricultura, la habilidad en su manejo, los conocimientos básicos de la percepción remota en la agricultura y el empoderamiento hacia esta tecnología. Fue notable el uso de medios de comunicación disponibles, el gran interés de capacitarse en esta tecnología y pertenecer a una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura. El análisis cualitativo sobre el futuro de los drones en la agricultura, reveló que los criterios que brindaron mayor información fueron la utilidad de la percepción remota en sus trabajos, la mayor preferencia por esta tecnología y el nivel académico del encuestado. Estos resultados coincidieron con la opinión positiva sobre el futuro de los drones que se relacionó con la utilidad de la percepción remota, el alto nivel académico, el interés en el uso de drones en sus actividades y su preferencia sobre otras tecnologías. Sin embargo, requiere de mayor capacitación en conocimientos de los dispositivos acoplados a esta plataforma. Los efectos directos positivos para conformar una comunidad de práctica relacionada a los drones en la agricultura, fueron los conocimientos básicos de los dispositivos del dron, la capacitación y el interés en el uso de drones en sus actividades. Pero, los expertos consultados no están realmente comprometidos con el desarrollo organizacional relacionado a la percepción remota en la agricultura. Los resultados reflejaron que esta nueva tecnología para ser aplicada a la agricultura de precisión, no requiere ser un experto en los drones, pero si en el área agrícola.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES GENERALES

Con la percepción remota -reflectancia de las bandas espectrales G, R y NIR, valores del NDVI y SAVI estimados de la reflectancia registrada por la Tetracam ADC- los estudios ecofisiológicos en el tiempo y espacio son realizados con precisión y exactitud. Se determinaron periodos predictivos de las cosechas y la estimación de respuestas de los rendimientos de maíz y yuca, la discriminación de cultivos y determinación del tamaño y forma de las unidades experimentales. El análisis financiero, determinó que en las parcelas de referencia de maíz, camote y yuca en La Molina se registraron los menores CT. En maíz y yuca, se obtuvieron los mayores IR. Los PE económico y productivo calculados en La Molina, Barranca y Cañete, reflejaron una excelente rentabilidad de los cultivos (de 16.26 por ciento del maíz de Cañete hasta 165.64 por ciento de las parcelas de yuca en La Molina). Las parcelas de referencia en La Molina y el ensamblaje de los modelos CCAFS-MOT y CFT, permitieron determinar con mayor precisión la estimación de las HCs por cultivo. Al comparar los sistemas de producción de cultivos en los tres sitios, las menores HC fueron estimadas en maíz y yuca, en La Molina. La principal fuente de GEI en los tres cultivos fue la aplicación de fertilizantes en maíz (48 por ciento), yuca (41 por ciento) y camote (36 por ciento). En maíz, camote y yuca, en La Molina, con las opciones de mitigación simuladas con el CCAFS-MOT, la reducción de la HC fue de 49 por ciento, 26 por ciento y 38 por ciento, respectivamente. El promedio de las HCs de Barranca y Cañete, se redujo en maíz (27 por ciento), camote (17 por ciento) y yuca (22 por ciento). La HC total calculada en las áreas representativas de los cultivos de maíz, camote y yuca en la costa central de Perú equivale al 2.3 por ciento de las emisiones totales. Los cultivos de maíz, camote y yuca acumularon 0.83 por ciento, 0.71 por ciento y 0.77 por ciento; respectivamente. En las estadísticas nacionales oficiales no se ha reportado esta información específica por cultivos de importancia económica.

La percepción captada del panel de expertos fue de una actitud positiva hacia los drones, que poseen habilidad y los conocimientos básicos de las herramientas de percepción remota y su aplicación en la agricultura. Además, se captó el gran uso de medios de comunicación disponibles sobre los drones, el interés en capacitarse en la percepción remota y la conformación de una comunidad de práctica relacionada al uso de los drones en la agricultura. El futuro de la percepción remota en la agricultura se asoció con los conocimientos básicos de los dispositivos del dron, el grado académico la utilidad en sus trabajos y la preferencia a otras tecnologías. La opinión de conformar una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura, es favorecida por los conocimientos de los dispositivos del dron, el interés en el uso de drones en sus actividades y la capacitación. Los resultados reflejaron que los drones poseen en el futuro un gran potencial de uso integral en la agricultura de precisión, por parte del personal técnico, gerencial y líderes de agricultores. Además, que no requiere ser un experto en los drones, pero si en el área agrícola.

CAPÍTULO V

RECOMENDACIONES

Se sugiere a las autoridades gubernamentales del sector agrícola integrar el uso de las herramientas de percepción remota y el análisis económico de la producción de cultivos estratégicos, en sus instrumentos de planificación, evaluación y seguimiento de planes estratégicos de Estado. Su implementación beneficiará a los investigadores, agricultores y consumidores, garantizando la sustentabilidad del agronegocio estudiado. Los modelos matemáticos de estimación de las HC utilizados son fáciles de aplicar en condiciones de fincas y son muy útiles para los diferentes sectores de la cadena productiva para etiquetar los productos que se ofrecen en el mercado internacional con las estimaciones de emisiones de GEI. Por eso, se recomienda utilizarlos para la toma de decisiones para regular las emisiones del sector agrícola y para que los agricultores puedan negociar precios e incentivos por la conservación del ambiente con información cuantitativa.

En el ámbito nacional, se sugiere continuar con los estudios de tipos de conocimientos y habilidades que se necesitan para que la percepción remota se utilice correctamente y se convierta en permanente. También, se debe identificar los miembros del sistema de innovación relacionado al uso de la percepción remota y sus responsabilidades para que sea una innovación sustentable.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrios, GN. 2005. Plant pathology. 1 ed. Elsevier Academic Press. USA. p. 135-700.

Akiyama, H; Yan, H; Yagi, K. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16:1837–1846.

Altieri, M; Nicholls, C. 2000. Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable, primera edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, DF. 235 p.

Ames, T; Smit, NEJM; Braun, AR; O'sullivan, JN; Skoglund, LG. 1997. Sweet potato: major pest, diseases, and nutritional disorders. International Potato Center (CIP). Lima. Perú. 153 p.

Andrade, H., Brook, R., Ibrahim, M. 2008. Growth production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant and Soil* 308(1-2):11-22.

Araus, JL; Cairns, JE. 2014. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in Plant Science* 19:52–61.

ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers, USA). 2006a. Agricultural machinery management data. American Society of Agricultural and Biological Engineers Standard ASAE EP496.3. ASABE, St. Joseph. p. 385–390.

_____. 2006b. Agricultural machinery management data. American Society of agricultural and Biological Engineers Standard ASAE EP496.3. ASABE, St. Joseph. p. 391–398.

Asif, M; Anver, M. 2003. Variability in fields experiments in maize crop in Pakistan. *Pakistan Journal of Agriculture Science* 40(3-4):207-209.

Audsley, E; Stacey, K; Parsons, DJ; Williams, AG. 2009. Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use. Cranfield University. 20 p.

Bannari, A; Morin, D; Bonn, F; Huerte, AR. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews* 13:95-120.

Bänziger, M; Edmeades, GO; Beck, D; Bellon, M. 2000. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice. CIMMYT. Mexico, D.F. 69 p.

Benites, JR; Bot, A. 2014. Agricultura de conservación, una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales. Editorial Banco Agropecuario. Lima, Perú. 344 p.

Bhagsari, AS. 1990. Relationship of photosynthesis and harvest index to sweet potato yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(2):288-293.

Blasius, J; Greenacre, MJ. 1994. Computation of correspondence analysis, in correspondence analysis in the social sciences. Academic Press, London. p. 53-75.

BM (Banco Mundial, USA). 2008. Informe sobre el desarrollo mundial. Agricultura para el desarrollo. Panorama General. Washington, DC. 30 p.

_____. 2010. Informe sobre el desarrollo mundial. desarrollo y cambio climático. panorama general, un nuevo clima para el desarrollo. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, Washington, DC. 60 p.

Bolaños, J; Barreto, H. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. Análisis de los resultados experimentales del PRM 1990. CIMMYT, Guatemala. 2:9-27.

_____; Edmeades, G. 1993c. La fenología del maíz. *In* Bolaños, J; Saín, G; Urbina, R; Barreto, H (eds.). Síntesis de resultados experimentales del Programa Regional de Maíz (1992). CIMMYT – PRM. Guatemala. 4:251-261.

_____. 1997. Un modelo simplificado de la productividad potencial del maíz. *In* Bolaños, J (ed.). Síntesis de resultados experimentales del Programa Regional de Maíz (1993-1995). CIMMYT – PRM. Guatemala. 5:291-296.

Bouwman, AF; Boumans, LJM; Batjes, NH. 2002. Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochem Cycles* 16(4):1080 p.

Brentrup, F; Pallière, C. 2008. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. The International Fertiliser Society. York, UK. 639 p.

Brindley, B. 1991. ¿Qué quiere decir realmente sostenible? Algunas reglas para la marcha del desarrollo. *Revista Ceres*. Universidade Federal de Viçosa. Brasil 128:35-38.

Brooking, I. 1990. Maize ear moisture during grain filling and its relation to physiological maturity and grain drying. *Field Crops Res.* 23:55-68.

Burgos, AM; Argüello, JA; Prause, J; Cenóz, P.J. 2013. Phenology of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) vegetative stages based on thermal time. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*. Argentina. 45(1):43-52.

Butterbach-Bahl, K; Baggs, EM; Dannenmann, M; Kiese, R; Zechmeister-Boltenstern, S. 2013. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 368(1621):20130122.

Cabrera-Bosquet, L; Fournier, C; Brichet, N; Welcker, C; Suard, B; Tardieu, F. 2016. High-throughput estimation of incident light, light interception and radiation-use efficiency of thousands of plants in a phenotyping platform. *New Phytologist* 212:269–281.

Chaparro, A; Herrera, OA; Peña, C. 2005. Consumo energético, eficiencia de campo y cobertura vegetal en labranza-siembra de maíz en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* 54(1):11–17.

Chase, L; Alvarez, J. 2000. Internet research: the role of the focus group. *Library & Information Science Research* 2:357–369.

Chávez, P; Yarlequé, Ch; Piro, O; Posadas, A; Mares, V; Loayza, H; Chuquillanqui, C; Zorogastúa, P; Flexas, J; Quiroz, R. 2010. Applying multifractal analysis to remotely sensed data for assessing PYVV infection in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Crops Remote Sensing* 2:1197-1216.

_____; Zorogastúa, P; Chuquillanqui, C; Salazar, LF; Mares, V; Quiroz, R. 2009. Assessing Potato Yellow Vein Virus (PYVV) infection using remotely sensed data. *Int. J. Pest Manag.* 55:251–256.

Clark, CA; Moyer, JW. 1988. Compendium of sweet potato diseases. The American Phytopathological Society. St. Paul, MN. 74 p.

Clevers, JGPW. 1988. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index, *Remote Sens. Environ.* 25:53-70.

Cochran, WG. 1977. Sampling techniques, third edition. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey, USA. 442 p.

Colomb, V; Bernoux, M; Bockel, L; Chotte, J-L; Martin, S; Martin-Phipps, C; Mousset, J; Tinlot, M; Touchemoulin, O. 2012. Review of GHG calculators in agriculture and forestry sectors: a guideline for appropriate choice and use of landscape based tools, Version 2.0 (ADEME, IRD, FAO). 43 p.

Colwell, RN. 1983. Manual of remote sensing. 2 ed. Vol. 1 & 2. American Society of Photogrammetry, Virginia. 868 p.

Condori, B; Hijmans, RJ; Quiroz, R; Ledent, JF. 2010. Quantifying the expression of potato genetic diversity in the high Andes through growth analysis and modeling. *Field Crop Res.* 119:135–144.

_____; Mamani, P; Botello, R; Patiño, F; Devaux, A; Ledent, JF. 2008. Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papalisa (*Ullucus tuberosus*). *European Journal Agronomy* 28:526–540.

Cramer, H. 2016. Mathematical methods of statistics. Princeton University Press. 575 p.

Csornai, G; Wirnhardt, Cs; Suba, Zs; Nádor, G; Tikász, L; Martinovich, drL; Kocsis, A; Zelei, Gy; László, I; Bognár, E. 2003. The Operational Crop Monitoring and Production Forecast Program (CROPMON 1997) and others RS based applications. Geoinformation for European Wide Integration. Proceeding of the 22nd Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories, Prague, Czech Republic. Rotterdam Netherlands. p. 561-566.

Dawson, S; Manderson, L; Tallo, VL. 1993. A Manual for the Use of Focus Groups. Methods for Social Research in Disease. Tropical No. 1 (TDR/SER/MSR/92.1). Boston, MA, USA. p. 25-50.

de Mendiburu, F. 2016. agricolae: statistical procedures for agricultural research. R-package version 1.2-4. Consultado 10/10/2016. Link, <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

Douthwaite, B. 2002. How to catalyse innovation. A practical guide to learning selection. Zed Books Ltd. London, New York in Association with CAMBIA Canberra, 8:217-238.

Ecoinvent Centre. 2007. Ecoinvent data v2.0. Ecoinvent reports No. 1-25, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en www.ecoinvent.org

Edmeades, GO; Lafitte, HR; Chapman, SC. 1992. Predicting the phenology of tropical maize: effects of photoperiod and temperature. CIMMYT, Mexico. p. 93-100.

_____; Bolaños, J; Chapman, SC; Lafitte, HR; Bänziger, M. 1999. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations. I. Gains in biomass, grain yield and harvest index. Crop Science 39:1306–1315.

El-Sharkawy, MA; Mejía de Tafur, SM. 2010. Comparative photosynthesis, growth, productivity, and nutrient use efficiency among tall- and short-stemmed rain-fed cassava cultivars. Photosynthetica 48:173–188.

Engel, PGH. 1997. Hacia un entendimiento de la organización social de la innovación. In Royal Tropical Institute The Netherlands. ed. La organización social de la innovación. Enfocando en/sobre la interacción de los agentes involucrados. Impreso y encuadernado en Chile. Capítulo 6:125-153.

Escobar, C. 1981. Estimación del tamaño óptimo de parcela experimental para ensayos de rendimiento con maíz. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* (34)1:31-36.

Fahlgren, N; Gehan, MA; Baxter, I. 2015. Lights, camera, action: high-throughput plant phenotyping is ready for a close-up. *Current Opinion in Plant Biology* 24:93–99.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. FAOSTAT (FAO Statistics Division). Consultado 16 may. 2016. Disponible en <http://faostat3.fao.org/home/E>

FAO-IFA (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, Italia). 2004. Estimaciones globales de las emisiones gaseosas de NH₃, NO y NO₂ provenientes de las tierras agrícolas. Primera versión. Roma. p. 1-30.

Feliciano, D; Nayak, D; Vetter, S; Hiller, J. 2014. CCAFS Mitigation Options Tool. Consultado 23 mar. 2016. Disponible en <https://ccafs.cgiar.org/mitigation-option-tool-agriculture#.V9BhUbjhC01>

Fleisher, DH; Condori, B; Quiroz, R; Alva, A; Asseng, S; Barreda, C; Bindi, M; Boote, KJ; Ferrise, R; Franke, AC; Govindakrishnan, PM; Harahagazwe, D; Hoogenboom, G; Naresh Kumar, S; Merante, P; Nendel, C; Olesen, JE; Parker, PS; Raes, D; Raymundo, R; Ruane, AC; Stockle, C; Supit, I; Vanuytrecht, E; Wolf, J; Woli1, P. 2016. A potato model intercomparison across varying climates and productivity levels. *Global Change Biology*. 24 p.

Flores, ED; Dela Cruz, RSM; Antolin, MC. 2016. Energy use and greenhouse gas emissions of farmer-level sweet potato production systems in the Philippines. *Asian Journal of Applied Sciences* 4(1):110-119.

Frank, F; Montero, G; Ricard, F; Sirotiuk, V; Viglizzo, E. 2014. La huella de carbono en la agroindustria. *In* Viglizzo, E (ed.). Producción Primaria. Ediciones INTA, La Pampa, Argentina. p. 27-33.

Frankenberger, TR; Drinkwater, M; Maxwell, D. 1999. Operationalizing household livelihood security. A holistic approach for addressing poverty and vulnerability. *In* FAO Corporate Document Repository (ed.). Produced by Economic and Social Development Department. 10 p.

Franz, C. 2006. Cramer: Multivariate nonparametric Cramer-Test for the two sample-problem, R package version 0.8-1.

Frohmann, A; Olmos, X. 2013. Huella de Carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID). 76 p.

Gardi, C; Angelini, M; Barceló, S; Comerma, J; Cruz, G; Rojas, E; Jones, A; Krasilnikov, P; Mendonça Santos Brefin, ML; Montanarella, L; Muñiz Ugarte, O; Schad, P; Vara Rodríguez, MI; Vargas, R. 2014. Atlas de suelos de América Latina y El Caribe, Comisión Europea-oficina de publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg. 176 p.

Genuer, R; Poggi, JM; Tuleau-Malot, C. 2010. Variable selection using Random Forests, pattern recognition letters. 31(14):2225-2236.

_____. 2015. VSURF: An R package for variable selection using Random Forests. *The R Journal* 7(2):19-33.

Gilabert, MA; García-Haro, FJ; González Piqueras, J. 1997. Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección* 8:1-10.

Goldman Sachs. 2016. Drones, reporting for work. Consultado 19 jul. 2017. Disponible en <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/technology-driving-innovation/drones/>

Gomez, K; Gomez, A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2 ed. Wiley & Sons, Philippines. 680 p.

Gordón, R. 2001. Guía para el manejo integrado del maíz mecanizado. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Panamá. 45 p.

Greenacre, MJ; Pardo, R. 2006. Subset correspondence analysis: visualizing relationships among a selected set of response categories from a questionnaire survey. *Sociological Methods and Research* 35:193-218.

Hall, A; Mytelka, L; Oyeyinka, B. 2005. Innovation systems: Implications for agricultural policy and practice. Institutional Learning and Change Initiative (ILAC) Brief 2. AgEcon Search, Roma, p. 1436–1445.

Halvorson, AD; del Grosso, SJ; Reule, CA. 2008. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. *Journal of Environmental Quality* 37(4):1337–1344.

Hanson, RS; Hanson, TE. 1996. Methanogenic bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 60(2):439–471.

Haverkort, AJ; Uenk, D; Veroude, H; van de Waart, M. 1991. Relationships between ground cover, intercepted solar radiation, leaf area index and infrared reflectance of potato crops. *Potato Research* 34(2):113-121.

_____; Hillier, JG. 2011. Cool Farm Tool – Potato: model description and performance of four production systems. *Potato Research* 54:355–369.

_____; Sandaña, P; Kalazich, J. 2014. Yield Gaps and Ecological Footprints of Potato Production Systems in Chile. *Potato Research* 57:13–31.

Hay, RKM. 1995. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annals of Applied Biology* 126:197–216.

Henríquez, P. Li Pun, H. 2013. *Innovaciones de impacto: Lecciones de la Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe*. IICA, BID. San José, CR. 30 p.

Hernández-Ramírez, G; Brouder, SM; Smith, DR; van Scoyoc, E. 2009. Greenhouse gas fluxes in an eastern corn belt soil: weather, nitrogen source, and rotation. *Journal of Environmental Quality*. 38(3):841–854.

Herrero, M; Havlík, P; Valin, H; Notenbaert, A; Rufino, MC; Thornton, PK; Blümmel, M; Weiss, F; Grace, D; Obersteiner, M. 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proc Natl Acad Sci USA*. 110(52):2088–2093.

Hillier, J; Walter, C; Malin, D; Garcia-Suarez, T; Mila-i-Canals, L; Smith, P. 2011b. A farm-focused calculator for emissions from crop and livestock production. *Environ Model Software* 26:1070–1078.

_____; Brentrup, F; Wattenbach, M; Walter, C; Garcia-Suarez, T; Mila-i-Canals, L; Smith, P. 2012. Which cropland greenhouse gas mitigation options give the greatest benefits in different world regions? Climate and soil-specific predictions from integrated empirical models. *Global Change Biology* 18(6):1880-1894.

Hillocks, RJ; Thresh, JM; Bellotti, AC. 2002. *Cassava: biology, production and utilization*. CAB International. Wallingford, UK. 343 p.

Houghton, R. 2003. Why are estimates of the terrestrial carbon balance so different? *Global Change Biology*. 9(4), 500-509.

Huamán, Z. 1992. Botánica sistemática y morfología de la planta de batata o camote. *Boletín de información técnica* 25, Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima. 22 p.

Huete, AR. 1988. A Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), *Remote Sens. Environ.* 25:295-309.

Hunt, R; Causton, DR; Shipley, B; Askew, P. 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Ann. Bot.* 90:485–488.

_____. 2003. Growth analysis, individual plants. *In* Thomas, B; Murphy, DJ; Murray, D (eds.). *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Academic Press, London. p. 579–588.

Hurburgh, CR Jr; Hazen, TE; Bern, CJ. 1985. Corn moisture measurement accuracy. *Agricultural and Biosystems Engineering Publications* 28:634–640.

IFA (Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes, Italia). 2009. *Fertilizers, climate change and enhancing agricultural productivity sustainably*. 1 ed. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. 30 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Suiza). 2007. *Climate Change 2007, Impacts adaptation and vulnerability*. *In* Parry, ML; Canziani, OF; Palutikof, JP; van der Linden, PJ; Hanson, CE (eds.). *Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge UK: Cambridge University Press. p. 976-2007.

_____. 2013. *Climate change 2013: The physical science basis*. *In* Stocker, TF; Qin, D; Plattner, GK; Tignor, M; Allen, SK; Boschung, J; Nauels, A; Xia, Y; Bex, V; Midgley, PM (eds.). *Contribution of working group I to the fifth assessment report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 1535 p.

Jackson, RDV Slater, PN; Pinter, PJ. 1983. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment* 13:187-208.

Jarvis, A; Ramírez, J; Bonilla-Findji, O; Zapata, E. 2011. Impacts of climate change in crop production in Latin America. *In* Yadav, SS; Redden, RJ; Hatfield, JL; Lotze, H; Hall, HE (eds.). *Crop adaptation to climate change*. Nueva York, USA. p. 44–56.

Jensen, JR. 1996. *Introductory digital image processing*. 2 ed. Saddle River NJ Prentice Hall. 316 p.

Johnson, JM; Franzluebbbers, AJ; Weyers, SL; Reicosky, DC. 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. *Environmental Pollution* 150(1):107-124.

Kavitha, B. 2010. Study on optimum plot size and optimum plot shape of soybean crop. Tesis Mag.Sc. Dharwad, India. University of Agricultural Sciences. 58 p.

Kawano, K. 1990. Harvest index and evaluation of major food crop cultivars in the tropics. *Euphytica* 46:195–202.

Keller, K; Yohe, G; Schlesinger, M. 2008. Managing the risks of climate thresholds: uncertainties and information needs. *Climatic Change* 91:5–10.

Kitzinger, L. 1995. Qualitative research. Introducing focus groups. *BMJ*. 311 (700):299–302.

Kuusik, A. 1998. Monitoring of vegetation parameters on large areas by the inversion of a canopy reflectance model. *International Journal of Remote Sensing* 19:2893-2905.

Lahai, T. 2013. Influence of canopy structure on yield of cassava cultivars at various toposequences of an inland valley agro ecosystem. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 5:36-47.

Lal, R. 2004. Carbon emissions from farm operations. *Environ Int.* 30:981-990.

Lebot, V. 2009. *Tropical Root and Tuber Crops: Cassava, Sweet Potato, Yams and Aroids*. CAB International. Wallingford, UK. 167 p.

Lillesand, TM; Kiefer, RW; Chipman, JW. 2004. Concepts and foundations of remote sensing. In *remote sensing and image interpretation*. 5 ed. University of Wisconsin-Madison, USA. p. 1-54.

Linquist, BA; Adviento-Borbe, MA; Pittelkow, CM; van Kessel, C; van Groenigen, KJ. 2012. Fertiliser management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: A quantitative review and analysis. *Field Crops Research* 135:10-21.

Ma, BL; Liang, BC; Biswas, DK; Morrison, MJ; McLaughlin, NB. 2014. The carbon footprint of maize production as affected by nitrogen fertilizer and maize-legume rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 94(1):15-31.

Manrique, A; Fegan, W; Sánchez, H; Noriega, V; Borbor, M; Chura, J; Castillo, J; Sarmiento, J. 1993. *Manual del maíz para la costa*, 1 ed. Proyecto TTA, actividad 3B. Lima, Perú. 94 p.

Marquina, S; Pérez, T; Donoso, L; Giulante, A; Rasse, R; Herrera, F. 2015. NO, N₂O and CO₂ soil emissions from Venezuelan corn fields under tillage and no-tillage agriculture. *Nutr Cycl Agroecosyst.* 101:123-137.

Martre, P; Wallach, D; Asseng, S; Ewert, F; Jones, JW; Rötter, RP; Boote, KJ; Ruane, AC; Thorburn, PJ; Cammarano, D; Hatfield, JL; Rosenzweig, C; Aggarwal, PK; Angulo, C; Basso, B; Bertuzzi, P; Biernath, Ch; Brisson, N; Challinor, AJ. 2015. Multimodel ensembles of wheat growth: many models are better than one. *Global Change Biology* 21:911–925.

Masera, O; Astier, M; López-Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El Marco de Evaluación MESMIS. GIRA. A.C. México. 109 p.

Masood, MA; Javed, MA. 2003. Variability in field experiments in maize crop in Pakistan. *Pak. J. Agri. Sci.* 40(3-4):2007-2009.

Matos, J. 1980. Reforma agraria: logros y contradicciones 1969 - 1979. Instituto de Estudios Peruanos, Lima, Perú. 151 p.

Matsunaga, M. 2010. How to factor analyze your data right: do's, don'ts, and how-to's. *International Journal of Psychological Research* 3(1):97-110.

Mejía de Tafur, SM. 2002. Fisiología de la yuca. *In* Ospina, B; Ceballos, H (eds.). La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento y comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y Desarrollo de la Yuca, Proyecto IP-3 Mejoramiento de Yuca. Cali. 327:34-48.

Mendelsohn, R. 2007. Past climate change impacts on agriculture. *Handbook of Agricultural Economics* 3:3008-3031.

Méndez, R. 2006. Difusión de Innovaciones en sistemas productivos locales y desarrollo territorial. Proyecto desarrollo territorial, redes institucionales y procesos de innovación socioeconómica en Castilla-La Mancha. Instituto de Economía y Geografía. CSIC. España. 29 p.

Milne, L; Neufeldt, H; Rosenstock, T; Smalligan, M; Cerri, CE; Malin, D; Easter, M; Bernoux, M; Ogle, S; Casarim, F; Pearson, T; Bird, DN; Steglich, E; Ostwald, M; Deneff, K; Paustian, K. 2013. Methods for the quantification of GHG emissions at the landscape level for developing countries in smallholder. *Environmental Research Letters* 8. 9 p.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2014. Intenciones de siembra. Campaña agrícola agosto 2013 - julio 2014. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos (OEEE-MINAGRI). 595 p.

_____. 2015. Sistema Integrado de Estadística Agraria. Insumos y servicios agrarios. Estadística de insumos agrarios. Lima, Perú. p. 138-141.

Monneveux, P; Sánchez, C; Tiessen, A. 2008. Future progress in drought tolerance in maize needs new secondary traits and cross combinations. *Journal of Agricultural Science* 146:287–300.

Montaldo, A. 1991. Cultivo de raíces y tubérculos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2 ed. Libros y Materiales Educativos. San José. 21. 408 p.

Monteith, JL. 1994. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agricultural and Forest Meteorology* 68:213–220.

Montgomery, DC; Runger, GC. 2003. Applied statistics and probability for engineers. 3 ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. p. 60-70.

Moran, D; MacLeod, M; Wall, E; Eory, V; McVittie, A; Barnes, A; Rees, B; Pajot, G; Matthews, R; Smith, P; Moxey, A. 2008. Developing carbon budgets for UK agriculture, land-use, land-use change and forestry out to 2022. *Climate Change* 105:529-553.

Moreno, S; Vela, H; Alvarez, MO. 2008. La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. Revista de Educación Bioquímica, México, DF. (REB) 27 (4):119-129.

Mosier, A; Schimel, D; Valentine, D; Bronson, K; Parton, W. 1991. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. Nature 350(6316):330-332.

Nayak, D; Saetnan, E; Cheng, K; Wang, W; Koslowski, F; Cheng, Yan-Fen; Yun Zhu, W; Wang, Jia-Kun; Liu, Jian-Xin; Moran, D. 2015. Management opportunities to mitigate greenhouse gas emissions from Chinese agricultura. Agriculture, Ecosystems & Environment 209:108-124.

Noval, T; Lopetegui Moreno, CM; Solano, O. 1999. Manual de instrucciones para realizar observaciones fenológicas en cultivos. Organización Meteorológica Mundial Comisión Meteorológica Agrícola CMag. Ginebra, Suiza. Informe n. 98:22-321.

Nyakatawa, EZ; Mays, DA; Way, TR; Watts, DB; Torbert, HA; Smith, DR. 2011. Tillage and fertilizer management effects on soil-atmospheric exchanges of methane and nitrous oxide in a corn production system. Applied and Environmental Soil Science. 12 p.

Ogle, SM; Breidt, FJ; Paustian, K. 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperature and tropical regions. Biogeochemistry 72:87-121.

Olander, LP. 2011. Using biogeochemical process models to quantify greenhouse gas mitigation from agricultural management projects. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 35 p.

Olivet, Y; Ortiz, A; Cobas, D; Blanco, A; Herrera, E. 2012. Evaluación de la labranza para el cultivo de boniato (*Ipomea batatas* L.) en un suelo Fluvisol. Re. Cie. Agr. 21:24-29.

ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Perú). 1970. Inventario, evaluación y uso racional de recursos naturales de costa de la cuenca río Cañete. Instituto Nacional de Planificación, República de Perú. 583 p.

Onwueme, IC; Charles, WB. 1994. Tropical root and tuber crops: production, perspectives and future prospects. FAO, Roma. 228 p.

Ortiz, O; Pradel, W. 2009. Guía introductoria para la evaluación de impactos en programas de manejo integrado de plagas (MIP). División de manejo integrado de cultivos. Centro Internacional de la Papa (CIP). Proyecto MIP de la mosca blanca tropical, CIAT, DFID. Lima, Perú. 50 p.

Ospina, B; García, ML; Alcalde, CA. 2002. Sistemas Mecanizados de Siembra y Cosecha para el cultivo de yuca. In Ospina, B; Ceballos, H. eds. La yuca en el Tercer Milenio: Sistemas modernos de Producción, Procesamiento y Comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la investigación y Desarrollo de la Yuca. Proyecto IP-3 Mejoramiento de Yuca. Cali. No. 327:326-339.

Paliwal, RL. 2001. Introducción al maíz y su importancia. In Paliwal, RL; Granados, G; Lafitte, HR (eds.). El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma. p. 11-13.

Pandey, S; Gardner, CO. 1992. Recurrent selection population, variety and hybrid improvement in tropical maize. Adv. Agron. 48:1-87.

Paranaíba, PF; Morais, AR; Ferreira, DF. 2009b. Optimum experimental plot size: comparison of estimation methods in real examples with wheat and cassava. Rev. Bras. Biom. 27(1):81-90.

Parry, MA; Reynolds, JM; Salvucci, ME; Raines, C; Andralojc, PJ; Zhu, XG; Price, CD; Condon, AG; Furbank, RT. 2011. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. *J. Exp. Bot.* 62:453–467.

Pearce, SC. 1976. An examination of fairfield Smith's law of environmental variation. *J. Agric. Sci. Camb.* 87:21-24.

Pearson, RL; Miller, LD. 1972. Remote sensing of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, pawnee national grasslands, Colorado. In *The 8th International symposium on remote sensing of the environment*. Committee of the Symposium. Ann Arbor, MI. p. 1355-1379.

Pérez, E; Medrano, LA; Sánchez, J. 2013. El Path analysis: conceptos básicos y ejemplos de aplicación. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*. 5(1):52-66.

Pérez, M; Terrón, M. 2004. La teoría de la difusión de la innovación y su aplicación al estudio de la adopción de recursos electrónicos por los investigadores en la Universidad de Extremadura. Instituto de Arqueología de Mérida. CSIC-Junta de Extremadura. p. 308-328.

Qi, J; Chehbouni, A; Huete, AR; Kerr, YJ; Sorooshian, S. 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote Sens. Environ.* 48:119-126.

Quiroz, R. 2012. Remote sensing as a monitoring tool for smallholder's cropping area determination in Tanzania and Uganda using sweet potato as a pilot crop. Project BMGF-CIP. 21 p.

_____; Posadas, A; Yarlequé, Ch; Barreda, C; Raymundo, R; Gavilán, C; Carbajal, M; Loayza, H; Tonnang, H; Kroschel, J; Forbes, G; De Haan, S. 2012. Challenges to sustainable potato production in a changing climate: a research perspective. International Potato Center (CIP), Lima, Perú. 14 p.

Rees, WG. 2009. Physical principles of remote sensing. 2 ed. Cambridge University Press, UK. 343 p.

Reynoso, D. 2003. Desarrollo de productos de camote para América Latina: materia seca de las raíces de camote, identificación de variedades para procesamiento. *In* Walker, T; Pain, G (eds.). Informe técnico final del proyecto de FONTAGRO “Desarrollo de productos de camote en América Latina”. CIP-Perú. p. 1-22.

Richards, JA; Jia, X. 1993. Remote sensing digital image analysis: an introduction. 4 ed. Springer Verlag. NY. USA. 454 p.

Richards, M; Metzel, R; Chirinda, N; Ly, P; Nyamadzawo, G; Duong, Q; de Neergaard, A; Oelofse, M; Wollenberg, E; Keller, E; Malin, D; Olesen, JE; Hillier J; Rosenstock, TS. 2016. Limits of agricultural greenhouse gas calculators to predict soil N₂O and CH₄ fluxes in tropical agriculture. *Sci. Rep.* 6:1-8.

Richardson, AJ; Wiegand, CL. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information, *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 43:1541-1552.

Ripley, BD. 1996. Pattern Recognition and neural networks. Chapter 3: Linear discriminant analysis. Cambridge University Press. p. 116-124.

Ritchie, S; Hanway, J. 1984. How a corn plant develops? Special report number 48. Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa. 21 p.

Rogers, EM. 1995. Diffusions networks. *In* Diffusion of Innovations. Fourth Edition. The Free Press, New York, USA. p. 281-334.

Romero, C. 1998. Evaluación financiera de inversiones Agrarias. Mundi-Prensa. Madrid. 78 p.

Rosenzweig, C; Jones, JW; Hatfield, JL; Ruane, AC; Boote, KJ; Thorburn, P; Antle, JM; Nelson, GC; Porter, C; Janssen, S; Asseng, S; Basso, B; Ewert, F; Wallach, D; Baigorría, G; Winter, JM. 2013. The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology* 170:166–182.

Rouse, JW; Haas, RH; Schell, JA; Deerino, DW; Harlan, JC. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/osfc. Type III. Final Report. Oreenbello MD. 371 p.

Rydberg, A; Söderström, M; Hagner, O; Börjesson, T. 2007. Field specific overview of crops using UAV (Unmanned Aerial Vehicle). In Stafford, JV. ed. *Precision Agriculture* 7:357-364.

Sánchez, JP. 2002. Análisis de rentabilidad de la empresa. Análisis contable. Universidad de Murcia, España. Consultado 19 ene. 2017. Disponible en <http://ciberconta.unizar.es/leccion/anarenta/analisisR.pdf>

Schimel, JP; Gullledge, J. 1998. Microbial community structure and global trace gases. *Global Change Biology* 4(7):745–758.

Schneider, CA; Rasband, WS; Eliceiri, KW. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9:671-675.

SEEG (Sistema de Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Perú). 2014. Sector agropecuario (1990-2013). Perú. Consultado 03 jun. 2016. Disponible en <http://seegperu.org>

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Perú). 2016. Información histórica de datos hidrometeorológicos. Perú. Consultado 10 jun. 2016. Disponible en http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi

Shan, J; Yan, X. 2013. Effects of crop residue returning on nitrous oxide emissions in agricultural soils. *Atmospheric Environment* 71:170-175.

Sharpe, RR; Schomberg, HH; Harper, LA; Endale, DM; Jenkins, MB; Franzluebbbers, AJ. 2004. Ammonia volatilization from surface-applied poultry litter under conservation tillage management practices. *Journal of Environmental Quality* 33(4):1183–1188.

Schubert, C. 2012. One-degree increase in Central America could affect one million farm families. *Climate Change, Agriculture and Food Security*. 5 p.

Singh, RK; Chaudhary, BD. 2007. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Path analysis. Kalyani Publishers. New Delhi-Ludhiana. 4:69-72.

Smith, HF. 1938. An empirical law describing heterogeneity in the yields of agricultural crops. *Journ. Agric. Sci.* XXVIII. 23 p.

Smith, P; Martino, D; Cai, Z; Gwary, D; Janzen, H; Humar, P; McCarl, B; Ogle, S; O'Mara, F; Rice, C; Scholes, B; Sirotenko, O; Howden, M; McAllister, T; Pan, G; Romanenkov, V; Schneider, U; Towprayoon, S. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118:6–28.

_____; Bhogal, A; Edgington, P; Black, H; Lilly, A; Barraclough, D; Worrall, F; Hillier, J; Merrington, G. 2010. Consequences of feasible future agricultural land-use change on soil organic carbon stocks and greenhouse gas emissions in Great Britain. *Soil Use & Management* 26(4):381-398.

Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Alley, RB; Berntsen, T; Bindoff, NL; Chen, Z; Chidthaisong, A; Gregory, JM; Hegerl, GC. 2007. Technical summary. *Climate Change 2007: the physical science basis*. In Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Chen, Z; Marquis, M; Averyt, KB; Tignor, M; Miller, HL (eds.). Contribution of working group I to the fourth

assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge y New York. 25 p.

Stage, FK; Carter, H; Nora, A. 2004. Path analysis: an introduction and analysis of a decade of research. *Journal of Educational Research* 98(1):5-12.

Stehfest, E; Bouwman, L. 2006. N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74:207–228.

Storr, S. 2014. Teledetección: mucho más que imágenes. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México. 3 p.

Teillet, PM; Staenz, K; Williams, DJ. 1997. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment* (61):139-149.

The Economist Journal. 2017. Technology quarterly. Civilian drones, taking flight. Cabot Square, London. 12 p.

Thomas, RJ; El-Dessougi, H; Tubeileh, A. 2006. Soil system management under arid and semi-arid conditions. *In* Uphoff, N; Ball, AS; Fernandes, E; Herren, H; Husson, O; Laing, M; Palm, Ch; Pretty, J; Sanchez, P; Sanginga, N; Thies, J (eds.). *Biological approaches to sustainable soil systems. Books in soils, plants, and the environment.* CRC Press Taylor & Francis Group. p. 43-52.

Tique, J; Chaves, B; Zurita, JH. 2009. Evaluación agronómica de diez clones promisorios CIP y dos materiales nativos de *Ipomoea batatas* L. *Agronomía Colombiana* 27(2):151-158.

Tossi, JA; Holdridge, LR. 1960. Zonas de vida natural en el Perú. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico del Perú. Proyecto 39 del Programa de Cooperación Técnica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Zona Andina. Boletín Técnico n. 5. 271 p.

Tubiello, FN; Córdor-Golec, RD; Salvatore, M; Piersante, A; Federici, S; Ferrara, A; Rossi, S; Flammini, A; Cardenas, P; Biancalani, R; Jacobs, H; Prasula, P; Prospero, P. 2015. Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura. Un manual para abordar los requisitos de los datos para los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma. 193 p.

Tucker, CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment* 8(2):127-150.

Tumwegamire, S; Kapinga, R. 2011. Evaluation of dry matter, protein, starch, sucrose, β -carotene, iron, zinc, calcium, and magnesium in East African sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam]. *Germoplasm. The American Society for Horticultural Science* 46(3):348–357.

Turrent, A. 2008. Cambios en maíz tropical por selección en estrés hídrico. *Revista Fitotecnica de México* 1(31):24-34.

Valdivia, C; Kengo Danda, M; Sheikh, D; James Jr, HS; Gathaara, V; Mbure, G; Murithi, F; Folk, W. 2014. Using translational research to enhance farmers' voice: a case study of the potential introduction of GM cassava in Kenya's coast. *Agriculture and Human Values* (31)4:673–681.

Vallejo, RL; Mendoza, HA. 1992. Plot technique studies on sweet potato yield trials. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(3):508-511.

van Kessel, C; Venterea, R; Six, J; Adviento-Borbe, MA; Linnquist, B; van Groenigen, KJ. 2013. Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Global Change Biology* 19(1):33-44.

van Wart, J; Kersebaum, KC; Peng, S; Milner, M; Cassman, KG. 2013. Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crop Res.* 143:34–43.

Vargas- Rojas, JC; Navarro- Flores, JR. 2014. Determinación de un tamaño adecuado de unidad experimental, utilizando el método de curvatura máxima, para ensayos de arroz (*Oryza sativa*), en Bagaces, Guanacaste. *InterSedes XV* (31):128-144.

Venables, WN; Ripley, BD. 2002. *Modern applied statistics with S.* 4 ed. Springer. 481 p.

Villordon, A; Clark, C; Ferrin, D; LaBonte, D. 2009a. Using growing degree days, agrometeorological variables, linear regression, and data mining methods to help improve prediction of sweet potato harvest date in Louisiana. *Hort Technology* 19:133–144.

_____; LaBonte, D; Firon, N. 2009b. Development of a simple thermal time method for describing the onset of morpho-anatomical features related to sweet potato storage root formation. *Sci. Hortic.* 121:374–377.

Wang, Q; Adiku, S; Tnhunen, J; Granier, A. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment* 94:244-255.

WB (World Bank, USA). 2013. CO₂ emissions (metric tons per capita). Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA. Consultado 09 jun. 2016. Disponible en <http://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.PC>

Webber, E. 2016. *Building successful communities of practice: discover how connecting people makes better organizations.* ISBN. 80 p.

Wenger, E; McDermott, R; Snyder, W. 2002. *Cultivating communities of practice: a guide to managing knowledge.* Harvard Business School Press. 304 p.

_____. 2011. Communities of practice: a brief introduction. National Science Foundation, US. p. 1-7.

Whittaker, C; McManus, MC; Smith, P. 2013. A comparison of carbon accounting tools for arable crops in the United Kingdom. *Environmental Modelling & Software* 46:228–239.

Woerishofer, M. 2011. Carbon footprint of local produced fruits and vegetables compared to imported goods from overseas in the Caribbean and Latin America. *Soil & More International*. 27 p.

Wolf, J. 2002. Comparison of two potato simulation models under climate change. II. Application of climate change scenarios. *Climate Research* 21:187–198.

Wollenberg, E; Tapio-Bistróm, M-L; Grieg-Gran, M. 2012. Climate change mitigation and agriculture. In Wollenberg, E; Tapio-Bistróm, M-L; Nihart, A; Grieg-Gran, M (eds.). *Designing projects and policies for smallholder farmers*. ICRAF and CIAT for the CGIAR Research Programs on CCAFS. p. 10-20.

Worldwatch Institute. 2004. *State of the world*. W.W. Norton & Company, NY. 273 p.

WRI (World Resources Institute, USA). 2014. CAIT Climate data explorer. Consultado 13 ene. 2016. Disponible en <http://cait.wri.org/>

Yan, X; Yagi, K; Akiyama, H; Akimoto, H. 2005. Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology* 11:1131-1141.

Yan, W; Hunt, LA. 1999. An equation for modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of Botany* 84:607-614.

Yzarra, W; Trebejo, I; Noriega, V. 2009. Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*, L.) en la costa central del Perú. Revista Peruana Geo-Atmosférica (RPGA) 1:1-10.

Zhang, Ch; Kovacs, JM. 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precision Agric. 13:693–712.

Zhang, D; Cervantes, J; Huamán, Z; Carey, E; Ghislain, M. 2000. Assessing genetic diversity of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] cultivars from tropical America using AFLP. Genetic Resources and Crop Evolution 47:659-665.

Zinner, TM; Sinclair, JB. 1982. Thermotherapy of soybean seeds to control seedborne fungi. Disease control and pest management. Phytopathology 72:831-834.

Zorogastúa, P; Quiroz, R; Potts, M; Namanda, S; Mares, V; Claessens, L. 2007. Utilization of high-resolution satellite images to improve the statistics of sweet potato cultivated area in the district of Kumi in Uganda. Working Paper 2007-5. International Potato Center (CIP), Lima, Peru. 14 p.

ANEXOS

ANEXO 1: Formulario de registro de insumos en general, gastos administrativos y financieros del cultivo de maíz. Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad	Costo Total
Preparación de terreno				
Arado	hombre/máquina			
Rastra	hombre/máquina			
Surcado	hombre/máquina			
Aporque	hombre/máquina			
Semilla certificada	kg			
Mano de obra siembra	jornal			
Sistema de riego				
Enseño				
Riegos				
Mano obra	jornal			
Fertilizantes				
Mano obra	jornal			
Fitosanitarios				
Mano obra	jornal			
Subtotal				
Cosecha				
Tumbado (corte)	jornal			
Despanque (sacos)	jornal			
Guardianía	jornal			
Cargada	jornal			
Desgrane a máquina	jornal			
Alquiler de terreno				
Asistencia técnica				
Gastos financieros y administrativos				
Imprevistos				
Productor:				
Localidad:				
Ubicación georeferenciada:				
Variedad (es):				
Rendimiento:				
Precio/kg:				
Distancia entre plantas:				
Distancia entre surcos:				
Análisis de suelo:				

ANEXO 2: Formulario de registro de insumos en general, gastos administrativos y financieros del cultivo de camote. Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad	Costo Total
Preparación de terreno				
Arado	hombre/máquina			
Rastra	hombre/máquina			
Surcado	hombre/máquina			
Esquejes	mil			
Mano de obra	jornal			
Sistema de riego				
Enseño				
Riegos				
Mano de obra	jornal			
Fertilizantes				
Mano de obra	jornal			
Fitosanitarios				
Mano de obra	jornal			
Cosecha				
Cosecha	hombre/máquina			
Recolección	jornal			
Ensacado	jornal			
Carga de cosecha	jornal			
Alquiler de terreno				
Asistencia técnica				
Gastos financieros y administrativos				
Imprevistos				
Productor:				
Localidad:				
Ubicación georeferenciada:				
Variedad (es):				
Rendimiento:				
Precio/kg:				
Distancia entre plantas:				
Distancia entre surcos:				
Análisis de suelo:				

ANEXO 3: Formulario de registro de insumos en general, gastos administrativos y financieros del cultivo de yuca. Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad	Costo Total
Preparación de terreno				
Arado	hombre/máquina			
Rastra	hombre/máquina			
Surcado	hombre/máquina			
Aporque				
Estacas certificadas				
Mano de obra	jornal			
Sistema de riego				
Enseño				
Riegos				
Mano de obra	jornal			
Fertilizantes				
Mano de obra	jornal			
Fitosanitarios				
Mano de obra	jornal			
Cosecha				
Cosecha	jornal			
Recolección y selección	jornal			
Ensayado y carga	jornal			
Alquiler de terreno				
Asistencia técnica				
Gastos financieros y administrativos				
Imprevistos				
Productor:				
Localidad:				
Ubicación georeferenciada:				
Variedad (es):				
Rendimiento:				
Precio/kg:				
Distancia entre plantas:				
Distancia entre surcos:				
Análisis de suelo:				

ANEXO 4: Costos de producción del cultivo de maíz. CIP, La Molina. Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Arado	hombre/máquina	1	24.24	4.68	
Rastra	hombre/máquina	2	48.48	9.36	
Surcado	hombre/máquina	1	24.24	4.68	
Aporque	hombre/máquina	3	72.72	14.04	
Semilla certificada	kg	20	303.00	58.48	
Mano de obra siembra	jornal	5	45.45	8.77	
Subtotal			518.13	100.00	22.61
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	kWh	21.55	3.23	2.12	
Riegos (13)	kWh	144.2	21.63	14.22	
Mano obra de aplicaciones	jornal	14	127.26	83.66	
Subtotal			152.12	100.00	6.64
Fertilizantes					
Urea 46% (saco 50 kg)	kg	200	82.00	28.95	
20-20-20	kg	300	174.00	61.43	
Mano obra de aplicaciones	jornal	3	27.27	9.63	
Subtotal			283.27	100.00	12.36
Fitosanitarios					
Insecticida Emamectin Benzoato 50 SG	sobre	2	18.18	10.47	
Lambdacialotrina 10 SC	litro	2	100.00	57.59	
<i>B. subtilis</i> (Kraken 10 WP)	kg	1	10.00	5.76	
Mano obra de aplicaciones	jornal	5	45.45	26.18	
Subtotal			173.63	100.00	7.58
Cosecha					
Tumbado (corte)	jornal	4	36.36	8.20	
Despanque (sacos)	jornal	280	280.00	63.12	
Serenazgo (guardianía)	jornal	5	45.45	10.25	
Cargada	jornal	5	45.45	10.25	
Desgrane a máquina	jornal	12	36.36	8.20	
Subtotal			443.62	100.00	19.36
CD (Costos Variables)			1570.77		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			450.00	62.42	
Asistencia Técnica			31.42	4.36	
Gastos Financieros			78.54	10.89	
Gastos Administrativos (5% CD)			82.47	11.44	
Imprevistos (5% GC)			78.54	10.89	
CI			720.96	100.00	31.46
Resumen					
CD (Costos Variables)			1570.77		
CI (Costos Fijos)			720.96		
Costo Total (CD+CI)			2291.73		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			11.35		
Precio de Venta en finca (Mg)			260.61		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			2957.92		
Beneficio Neto (Ingreso Bruto - Costo Total)			666.19		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			29.07		
			TOTAL		100.00

ANEXO 5: Costos de producción del cultivo de maíz. Barranca, Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Barbecho	hombre/máquina	1	109.09	20.10	
Grada	hombre/máquina	2	59.09	10.89	
Surcado	hombre/máquina	1	24.24	4.47	
Semilla certificada	kg	20	306.82	56.52	
Mano de obra siembra	jornal	5	43.56	8.03	
Subtotal			542.80	100.00	21.34
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	jornal	1	13.64	6.94	
Riegos (13)	jornal	13	107.20	54.53	
Canon de agua	m ³	5000	75.76	38.54	
Subtotal			196.59	100.00	7.73
Fertilizantes					
Urea 46% (saco 50 kg)	kg	750	312.88	55.69	
SFTriple 0-46-0 (saco 50 kg)	kg	150	104.55	18.61	
KCl 50% K (saco 50 kg)	kg	100	60.87	10.84	
Mano obra de aplicación	jornal	6	83.48	14.86	
Subtotal			561.78	100.00	22.09
Fitosanitarios					
Herbicida Atrazina	litro	1	10.61	4.96	
Insecticida Cipermetrina	litro	1.6	30.91	14.46	
Lannate (4 sobres) + Metamidofos (1.6 l)	mezcla	2	37.80	17.68	
Fungicida Folicur	jornal	1	28.41	13.29	
Mano obra de aplicación	jornal	18	106.06	49.61	
Subtotal			213.79	100.00	8.40
Cosecha					
Tumbado (corte)	jornal	5	35.98	13.71	
Despanque (sacos)	jornal	3	24.62	9.38	
Serenazgo (guardianía)	jornal	10	83.33	31.75	
Cargada	jornal	5	39.77	15.15	
Transporte	jornal	1	43.94	16.74	
Desgrane a máquina	jornal	11	34.85	13.28	
Subtotal			262.50	100.00	10.32
CD (Costos Variables)			1777.46		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			462.12	60.32	
Asistencia Técnica			34.55	4.51	
Gastos Financieros			88.35	11.53	
Gastos Administrativos (5% CD)			92.77	12.11	
Imprevistos (5% GC)			88.35	11.53	
CI			766.15	100.00	30.12
Resumen					
CD (Costos Variables)			1777.46		
CI (Costos Fijos)			766.15		
Costo Total (CD+CI)			2543.61		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			11.50		
Precio de Venta en finca (Mg)			261.36		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			3005.64		
Venta de coronta			101.06		
Utilidad			3106.70		
Beneficio Neto (Utilidad - Costo Total)			563.09		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			22.14		
			TOTAL		100.00

ANEXO 6: Costos de producción del cultivo de maíz. Cañete, Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Barbecho	hombre/máquina	1	103.03	18.66	
Grada	hombre/máquina	2	87.88	15.91	
Surcado	hombre/máquina	1	24.24	4.39	
Semilla certificada	kg	20	303.03	54.87	
Mano de obra siembra	jornal	5	34.09	6.17	
Subtotal			552.27	100.00	23.01
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	jornal	1	15.15	8.30	
Riegos (12)	jornal	12	91.67	50.21	
Canon de agua	m ³	5000	75.76	41.49	
Subtotal			182.58	100.00	7.61
Fertilización					
Urea 46% (saco 50 kg)	kg	150	76.14	22.78	
Fosfato Diamónico 18-46-0 (NH ₄) ₂ HPO ₄	kg	200	117.27	35.09	
KCl (50% K)	kg	200	106.67	31.92	
Mano obra de aplicación	jornal	4	34.09	10.20	
Subtotal			334.17	100.00	13.92
Fitosanitarios					
Herbicida Atrazina	litro	1	18.18	10.15	
Insecticida Clorpirifos EC + Imidacloprid	litro	0.5	36.02	20.10	
Insecticida Emamectin Benzoato 50 SG	sobre	3	53.03	29.59	
Mano obra de aplicación	jornal	10	71.97	40.16	
Subtotal			179.20	100.00	7.47
Cosecha					
Tumbado (corte)	jornal	5	32.58	6.97	
Despanque (sacos)	jornal	280	243.94	52.19	
Serenazgo (guardianía)	jornal	12	75.76	16.21	
Cargada	jornal	5	35.98	7.70	
Transporte	jornal	1	42.42	9.08	
Desgrane a máquina	jornal	11	36.74	7.86	
Subtotal			467.42	100.00	19.48
CD (Costos Variables)			1715.64		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			391.67	57.23	
Asistencia Técnica			33.93	4.96	
Gastos Financieros			84.84	12.40	
Gastos Administrativos (5% CD)			89.08	13.02	
Imprevistos (5% GC)			84.84	12.40	
CI			684.35	100.00	28.51
Resumen					
CD (Costos Variables)			1715.64		
CI (Costos Fijos)			684.35		
Costo Total (CD+CI)			2399.99		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			10.75		
Precio de Venta en finca (Mg)			250.76		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			2695.67		
Venta de coronta			94.47		
Utilidad			2790.14		
Beneficio Neto (Utilidad - Costo Total)			390.15		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			16.26		
			TOTAL		100.00

ANEXO 7: Costos de producción del cultivo de camote. CIP, La Molina. Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Arado	hombre/máquina	1	24.24	8.18	
Rastra	hombre/máquina	2	48.48	16.36	
Surcado	hombre/máquina	1	24.24	8.18	
Esquejes	mil	42	90.30	30.47	
Mano de obra siembra + alimentador	jornal	12	109.08	36.81	
Subtotal			296.34	100.00	15.82
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	kWh	9.0	1.35	1.34	
Riegos (8)	kWh	56.63	8.49	8.43	
Mano obra de aplicaciones	jornal	9	90.90	90.23	
Subtotal			100.74	100.00	5.38
Fertilizantes					
Urea 46% (saco 50 kg)	kg	120	49.20	17.44	
20-20-20	kg	250	145.00	51.41	
KCl 50% K (saco 50 kg)	kg	80	42.40	15.03	
Mano obra de aplicaciones	jornal	5	45.45	16.11	
Subtotal			282.05	100.00	15.05
Fitosanitarios					
Abamectin 1.8 CE	litro	0.5	52.73	23.37	
Lambdacialotrina 10 SC	litro	0.5	25.00	11.08	
Imidacloprid	litro	1	45.00	19.94	
Lufenurón 50 EC	litro	1.0	12.00	5.32	
Mano obra de aplicaciones	jornal	10	90.90	40.29	
Subtotal			225.63	100.00	12.04
Cosecha					
Cosecha	hombre/máquina	4	96.96	43.24	
Recolección	jornal	8	72.72	32.43	
Ensacado	jornal	3	27.27	12.16	
Carga de cosecha	jornal	3	27.27	12.16	
Subtotal			224.22	100.00	11.97
CD (Costos Variables)			1128.98		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			550.00	73.85	
Asistencia Técnica			22.58	3.03	
Gastos Financieros			56.45	7.58	
Gastos Administrativos (5% CD)			59.27	7.96	
Imprevistos (5% GC)			56.45	7.58	
CI			744.75	100.00	39.75
Resumen					
CD (Costos Variables)			1128.98		
CI (Costos Fijos)			744.75		
Costo Total (CD+CI)			1873.73		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			14.56		
Precio de Venta en finca (Mg)			303.03		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			4412.12		
Beneficio Neto (Ingreso Bruto - Costo Total)			2538.39		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			135.47		
			TOTAL		100.00

ANEXO 8: Costos de producción del cultivo de camote. Barranca, Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Barbecho	hombre/máquina	4	130.91	24.40	
Grada	hombre/máquina	3	84.34	15.72	
Surcado	hombre/máquina	1	23.23	4.33	
Esquejes	saco	10	119.70	22.31	
Corte/preparación esquejes/trasplante	jornal	25	178.28	33.23	
Subtotal			536.46	100.00	17.61
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	jornal	1	14.14	9.69	
Riegos (10)	jornal	10	93.94	64.36	
Canon de agua	m ³	2500	37.88	25.95	
Subtotal			145.96	100.00	4.79
Fertilizantes					
Urea 46%	kg	150	89.49	18.26	
Fosfato Diamónico 18-46-0 (NH ₄) ₂ HPO ₄	kg	200	130.24	26.57	
KCl (50% K)	kg	100	58.03	11.84	
Estiércol (gallinaza)	kg		149.24	30.44	
Mano obra de aplicaciones	jornal	4	63.23	12.90	
Subtotal			490.24	100.00	16.10
Fitosanitarios					
Insecticida Clorpirifos EC	litro	1	141.82	19.71	
Mano de obra aplicación y manual	jornal	30	577.78	80.29	
Subtotal			719.60	100.00	23.63
Cosecha					
Cosecha	hombre/máquina	3	121.21	37.06	
Recolección	jornal	14	108.08	33.05	
Ensacado	jornal	8	74.75	22.85	
Combustible (aceite y gasolina)	litro	90	23.02	7.04	
Subtotal			327.06	100.00	10.74
CD (Costos Variables)			2219.32		
2. Gastos Generales					
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			454.55	54.99	
Asistencia Técnica			43.48	5.26	
Gastos Financieros			107.71	13.03	
Gastos Administrativos (5% CD)			113.10	13.68	
Imprevistos (5% GC)			107.71	13.03	
CI			826.55	100.00	27.14
Resumen					
CD (Costos Variables)			2219.32		
CI (Costos Fijos)			826.55		
Costo Total (CD+CI)			3045.87		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			25.00		
Precio de Venta en finca (Mg)			237.37		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			5934.25		
Beneficio Neto (Ingreso Bruto - Costo Total)			2888.38		
Indice de Rentabilidad (BN/CT)*100			94.83		
			TOTAL		100.00

ANEXO 9: Costos de producción del cultivo de camote. Cañete, Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Barbecho	hombre/máquina	1	105.30	23.32	
Grada	hombre/máquina	2	75.00	16.61	
Surcado	hombre/máquina	1	30.30	6.71	
Esquejes	saco	10	113.64	25.17	
Mano de obra siembra	jornal	15	127.27	28.19	
Subtotal			451.52	100.00	18.79
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	jornal	1	17.42	15.86	
Riegos (5)	jornal	5	54.55	49.66	
Canon de agua	m ³	2500	37.88	34.48	
Subtotal			109.85	100.00	4.57
Fertilizantes					
Urea 46% (saco 50 kg)	kg	150	110.98	18.01	
Fosfato Diamónico 18-46-0 (NH ₄) ₂ HPO ₄	kg	200	123.48	20.04	
KCl 50% K (saco 50 kg)	kg	200	103.64	16.82	
Gallinaza			212.12	34.43	
Mano obra de aplicaciones	jornal	7	65.91	10.70	
Subtotal			616.14	100.00	25.65
Fitosanitarios					
Metamidophos	litro	2	45.91	17.55	
Emamectin Benzoato 50 SG	sobre	3	27.27	10.42	
Metomil	kg	2	74.55	28.49	
Carbofuran 4 F	kg	4	25.25	9.65	
Mano obra de aplicaciones	jornal	10	88.64	33.88	
Subtotal			261.62	100.00	10.89
Cosecha					
Cosecha	hombre/máquina	4	90.91	34.17	
Recolección	jornal	12	109.09	41.00	
Ensacado y carga	jornal	6	66.06	24.83	
Subtotal			266.06	100.00	11.07
CD (Costos Variables)			1705.18		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			391.67	56.17	
Asistencia Técnica			30.10	4.32	
Gastos Financieros			75.24	10.79	
Gastos Administrativos (5% CD)			79.57	11.41	
Imprevistos (5% GC)			75.24	10.79	
Otros			45.45	6.52	
CI			697.28	100.00	29.02
Resumen					
CD (Costos Variables)			1705.18		
CI (Costos Fijos)			697.28		
Costo Total (CD+CI)			2402.45		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			26.25		
Precio de Venta en finca (Mg)			231.06		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			6065.33		
Beneficio Neto (Ingreso Bruto - Costo Total)			3662.87		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			152.46		
			TOTAL		100.00

ANEXO 10: Costos de producción del cultivo de yuca. CIP, La Molina. Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Arado	hombre/máquina	1	24.24	4.56	
Rastra	hombre/máquina	2	48.48	9.12	
Surcado	hombre/máquina	1	24.24	4.56	
Aporque		3	72.72	13.68	
Estacas certificadas	saco	12	180.00	33.87	
Mano de obra siembra	jornal	20	181.80	34.21	
Subtotal			531.48	100.00	18.44
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	kWh	9.0	1.35	0.99	
Riegos (8)	kWh	176.41	26.46	19.33	
Mano obra de aplicaciones	jornal	12	109.08	79.68	
Subtotal			136.89	100.00	4.75
Fertilizantes					
40-60-20	kg	200	130.00	42.21	
KCl 50% K (saco 50 kg)	kg	100	53.00	17.21	
KCl 50% K (saco 50 kg)	kg	150	79.50	25.82	
Mano obra de aplicaciones	jornal	5	45.45	14.76	
Subtotal			307.95	100.00	10.69
Fitosanitarios					
Abamectin 1.8 CE	litro	1.0	105.45	29.12	
Lambdacialotrina 10 SC	litro	1.0	50.00	13.81	
Imidacloprid	litro	1.0	45.00	12.43	
Lufenurón 50 EC	litro	2.0	24.00	6.63	
Buprofezina 25 WP	kg	1.0	35.00	9.66	
Acetamiprid	kg	1.0	30.00	8.28	
Mano obra de aplicaciones	jornal	8	72.72	20.08	
Subtotal			362.17	100.00	12.57
Cosecha					
Cosecha de RR	jornal	13	118.17	38.24	
Recolección y selección de RR	jornal	13	118.17	38.24	
Ensayado y carga	jornal	8	72.72	23.53	
Subtotal			309.06	100.00	10.72
CD (Costos Variables)			1647.55		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			1000.00	81.02	
Asistencia Técnica			27.16	2.20	
Gastos Financieros			67.91	5.50	
Gastos Administrativos (5% CD)			71.30	5.78	
Imprevistos (5% GC)			67.91	5.50	
CI			1234.27	100.00	42.83
Resumen					
CD (Costos Variables)			1647.55		
CI (Costos Fijos)			1234.27		
Costo Total (CD+CI)			2881.82		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			38.86		
Precio de Venta en finca (Mg)			197.00		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			7655.42		
Beneficio Neto (Ingreso Bruto - Costo Total)			4773.60		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			165.64		
			TOTAL		100.00

ANEXO 11: Costos de producción del cultivo de yuca. Barranca, Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Barbecho	hombre/máquina	4	90.91	19.58	
Grada	hombre/máquina	3	56.82	12.23	
Surcado	hombre/máquina	1	22.73	4.89	
Estacas certificadas	saco	10	134.85	29.04	
Mano de obra siembra	jornal	20	159.09	34.26	
Subtotal			464.39	100.00	15.86
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	jornal	1	12.12	6.02	
Riegos (11)	jornal	11	83.33	41.35	
Canon de agua	m ³	7000	106.06	52.63	
Subtotal			201.52	100.00	6.88
Fertilizantes					
Urea 46%	kg	300	234.09	50.53	
Fosfato Diamónico 18-46-0 (NH ₄) ₂ HPO ₄	kg	200	124.13	26.79	
KCl (50% K)	kg	100	74.77	16.14	
Mano de obra	jornal	3	30.30	6.54	
Subtotal			463.30	100.00	15.82
Fitosanitarios					
Glifosato	litro	5	23.48	6.44	
Insecticida Abamectina 1.8 CE	jornal	2	130.45	35.77	
Insecticida Clorpirifos EC	litro	3	135.00	37.02	
Mano de obra aplicación	jornal	10	75.76	20.77	
Subtotal			364.70	100.00	12.46
Cosecha					
Cosecha de RR	jornal	15	113.64	50.00	
Recolección y selección de RR	jornal	10	75.76	33.33	
Ensayado y carga	jornal	5	37.88	16.67	
Subtotal			227.27	100.00	7.76
CD (Costos Variables)			1721.17		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			909.09	75.34	
Asistencia Técnica			35.13	2.91	
Gastos Financieros			86.06	7.13	
Gastos Administrativos (5% CD)			90.36	7.49	
Imprevistos (5% GC)			86.06	7.13	
CI			1206.70	100.00	41.21
Resumen					
CD (Costos Variables)			1721.17		
CI (Costos Fijos)			1206.70		
Costo Total (CD+CI)			2927.88		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			18.00		
Precio de Venta en finca (Mg)			250.00		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			4500.00		
Beneficio Neto (Ingreso Bruto - Costo Total)			1572.12		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			53.70		
			TOTAL		100.00

ANEXO 12: Costos de producción del cultivo de yuca. Cañete, Perú.

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total (US\$)	Relativo al componente (%)	Relativo al total (%)
A. Costos Directos (CD)					
Preparación de terreno					
Barbecho	hombre/máquina	1	100.76	22.45	
Grada	hombre/máquina	2	75.76	16.88	
Surcado	hombre/máquina	1	24.24	5.40	
Estacas certificadas	saco	10	98.48	21.94	
Mano de obra siembra	jornal	20	149.62	33.33	
Subtotal			448.86	100.00	14.42
Sistema de riego (gravedad/surcos)					
Enseño	jornal	1	18.18	9.43	
Riegos (10)	jornal	10	82.95	43.03	
Canon de agua	m ³	7000	91.67	47.54	
Subtotal			192.80	100.00	6.19
Fertilizantes					
Urea 46% (saco 50 kg)	kg	200	82.12	15.46	
20-20-20	kg	200	116.44	21.92	
KCl 50% K (saco 50 kg)	kg	200	90.61	17.06	
Gallinaza	ton	7	212.12	39.93	
Mano obra de aplicación	jornal	3	29.92	5.63	
Subtotal			531.21	100.00	17.06
Fitosanitarios					
Linuron 50 WP	kg	2	63.79	13.92	
Metamidophos + Lufenuron 50 EC	litro	4	98.11	21.42	
Mano obra de aplicación	jornal	10	68.94	15.05	
Deshierbas manuales	jornal	30	227.27	49.61	
Subtotal			458.11	100.00	14.71
Cosecha					
Cosecha de RR	jornal	11	87.12	38.02	
Recolección y selección de RR	jornal	11	83.33	36.36	
Ensayado y carga	jornal	6	58.71	25.62	
Subtotal			229.17	100.00	7.36
CD (Costos Variables)			1860.15		
B. Costos Indirectos (CI)					
Alquiler de terreno			871.21	69.51	
Asistencia Técnica			36.47	2.91	
Gastos Financieros			115.79	9.24	
Gastos Administrativos (5% CD)			87.08	6.95	
Imprevistos (5% GC)			82.21	6.56	
Otros			60.61	4.84	
CI			1253.37	100.00	40.26
Resumen					
CD (Costos Variables)			1860.15		
CI (Costos Fijos)			1253.37		
Costo Total (CD+CI)			3113.52		
Análisis Económico y Rentabilidad					
Rendimiento Promedio (Mg·ha ⁻¹)			25.75		
Precio de Venta en finca (Mg)			200.76		
Ingreso Bruto (Precio de venta * Rendimiento)			5169.57		
Beneficio Neto (Ingreso Bruto - Costo Total)			2056.05		
Índice de Rentabilidad (BN/CT)*100			66.04		
			TOTAL		100.00

ANEXO 13: Encuesta digital sobre el uso de los drones en la agricultura.



1. Nombre:
2. Dirección:
3. Edad (años):
 - a. 20 a 29
 - b. 30 a 39
 - c. 40 a 49
 - d. 50 a 59
 - e. Más de 60
4. Sexo: Masculino, Femenino
5. Nivel académico:
 - a. Licenciatura
 - b. Maestría
 - c. Doctorado
6. Usted pertenece a:
 - a. Institución de investigación
 - b. Institución de extensión agropecuaria
 - c. Universidad
 - d. Asociación de productores
 - e. Institución de crédito agropecuario
 - f. Institución de seguro agropecuario
7. Conocimientos sobre el uso de drones en agricultura:
 - a. Nada
 - b. Mucho
8. Conocimientos de los dispositivos que se conectan al dron:
 - a. Nada
 - b. Algo
 - c. Mucho
9. Por qué medio se ha enterado del uso de los drones en la agricultura:
 - a. TV
 - b. Internet
 - c. Revistas
 - d. Artículos científicos
 - e. Exposición

10. Está interesado en el uso de drones en sus actividades:
 - a. Poco
 - b. Algo
 - c. Mucho
11. La herramienta de percepción remota será útil en su trabajo:
 - a. Si
 - b. No
12. Cuáles características del dron considera más importantes:
 - a. Precio
 - b. Piloteado fácil
 - c. Autonomía de vuelo
 - d. Tamaño
 - e. Accesorios con el dron
13. Cree que las herramientas de percepción remota son fáciles de usar:
 - a. Si
 - b. No
- 14.Cuál de los siguientes elementos está relacionado a la percepción remota
 - a. Fuente de energía solar
 - b. Sensor remoto acoplado a dron
 - c. Transmisión, recepción y procesamiento
 - d. Interpretación y análisis de imágenes
15. En qué aspectos le gustaría que el uso de drones le ayude:
 - a. Estimación de áreas de cultivos
 - b. Identificación de cultivos
 - c. Caracterización de los suelos
 - d. Sanidad de cultivos
 - e. Estimación de rendimientos
16. Tiene interés en capacitarse en tecnología de percepción remota:
 - a. Si
 - b. No
17. Qué futuro prevé a los drones en la agricultura
 - a. Algo
 - b. Mucho
18. Prefiero otras tecnologías:
 - a. Si
 - b. No
19. Recomendaría el uso de drones a colegas:
 - a. Si
 - b. No
20. Le gustaría conformar una comunidad de práctica sobre los drones en la agricultura:
 - a. Si
 - b. No