



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADOS  
MAESTRÍA EN SALUD OCUPACIONAL CON ÉNFASIS EN HIGIENE  
AMBIENTAL

**Exposición Ocupacional a Radiación Ultravioleta en Poblaciones Agrícolas de  
la Provincia de Cartago**

Marcela Alejandra Sierra Cárcamo

Heredia, Octubre del 2016

Tesis sometida a consideración por el Tribunal Examinador del Posgrado en Salud Ocupacional  
con Énfasis en Higiene Ambiental presentado para optar al grado de Magíster Scientiae.

# **Exposición Ocupacional a Radiación Ultravioleta en Poblaciones Agrícolas de la Provincia de Cartago**

Marcela Alejandra Sierra Cárcamo

Trabajo presentado para optar al grado de Magíster Scientiae cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional, Heredia. Costa Rica.

Miembros del Tribunal Examinador

.....  
Representante del Consejo Central de Postgrado

.....  
María Lourdes Medina MSc.  
Coordinadora Programa de Postgrado-TEC

.....  
Jennifer Crowe, MSc. PhD  
Tutora

.....  
Ing. Jorge Chaves MSc.  
Lector

.....  
Ing. Andrés Robles MEng.  
Lector

.....  
Marcela Alejandra Sierra Cárcamo

## RESUMEN

La exposición a radiación solar en los trabajadores agrícolas es un tema de alcance mundial. La agricultura en el Costa Rica representa el 15% del Producto Interno Bruto y 20% de la fuerza laboral. Costa Rica se caracteriza por una agricultura primaria en cultivos, que representan el 82% de las tierras agrícolas del país. La población costarricense se ve afectada con cáncer de piel, lo que representa el 25% de las causas de cáncer a nivel nacional.

El objetivo de este proyecto fue valorar la exposición ocupacional a radiación ultravioleta en trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago. Como objetivos específicos se propuso caracterizar la exposición a la Radiación Ultravioleta (RUV) en los trabajadores, cuantificar el nivel de radiación ( $W/m^2$ ) al que se exponen y determinar la dosis estándar de eritema (SED) de los trabajadores agrícolas.

Para el desarrollo de esta investigación de tipo observacional-exploratorio se visitaron 13 fincas agrícolas en 16 días. La medición de la irradiancia incidente sobre una superficie horizontal ( $W/m^2$ ) durante un período específico de tiempo se midió usando un radiómetro en época lluviosa y seca. Se aplicó una encuesta higiénica y se les observó a los trabajadores durante su jornada laboral. Se utilizó el test de Fitzpatrick skin type, luego mediante la matriz QFD se detalló cada uno de los ciclos de producción de siembra y cosecha en cada cultivo.

Los resultados más importantes mostraron que los trabajadores agrícolas tienen una exposición significativa a la RUV en las épocas de estudio, lo que indica que la preocupación por las actividades profesionales al aire libre están bien fundamentadas. Se comprobó que las exposiciones a la RUV superan el umbral máximo de exposición radiante recomendado por ICNIRP de 1,5 SED. Se concluyó que los sitios anatómicos con exposición a la RUV durante

todos los procesos de producción de siembra y cosecha de los cultivos y sus actividades laborales son la cara y pecho. Así mismo, se identificó posturas ergonómicas que potencialmente podrían afectar la salud de los trabajadores. Finalmente, se comparó con el índice UV reportado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) durante cada día del estudio y se determinó que el índice UV reportado por el IMN no es consistente con las exposiciones medidas en el campo.

Se concluye que la exposición a la RUV representa un riesgo ocupacional importante para los trabajadores agrícolas en la provincia de Cartago y que se requiere una protección adicional y otras medidas de prevención y/o control, en beneficio para todas las ocupaciones expuestas al aire libre en el país.

## ABSTRACT

Exposure to solar radiation in agricultural workers is a global issue. Agriculture in Costa Rica represents 15% of GDP and 20% of the workforce. Costa Rica is characterized by primary agriculture crops, which represent 82% of agricultural land in the country. Costa Rican population is affected with skin cancer, accounting for 25% of the causes of cancer nationwide.

The objective of this project was to evaluate occupational exposure to ultraviolet radiation in agricultural workers in the province of Cartago. The specific objectives were to characterize exposure to Ultraviolet Radiation (UVR) in workers, quantify the level of radiation ( $W/m^2$ ) to set out and determine the standard erythema dose (SED) of agricultural workers.

For the development of this research exploratory observational-13 farms were visited in 16 days. Measuring the irradiance incident on a horizontal surface ( $W/m^2$ ) for a specific period of time was measured using a radiometer in rainy and dry season. a sanitary survey was applied and were observóa workers during working hours. test Fitzpatrick skin type, then by QFD matrix was used was detailed each production cycles of planting and harvesting in each crop.

The most important results showed that agricultural workers have significant exposure to UVR in times of study, indicating that concern for professional outdoor activities are well founded. It was found that UVR exposures exceed the maximum radiant exposure threshold recommended by ICNIRP 1.5 SED. It was concluded that the anatomical sites UVR exposure during all production processes planting and harvesting of crops and their work activities are the face and chest. Likewise, ergonomic postures that could potentially affect the health of workers identified. Finally, compared with the UV index reported by the National Weather Service Institute (IMN) during each day of the study and found that the UV index reported by the IMN is not consistent

with the exposures measured in the field.

It is concluded that UVR exposure is a major occupational hazard for agricultural workers in the province of Cartago and additional protection and other measures to prevent and / or control is required, the benefit for all occupations exposed outdoor the country.

## AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer inicialmente al programa de maestría en Salud Ocupacional de las prestigiosas universidades ITCR-UNA por haberme dado la oportunidad de ser parte de la VII promoción.

Al profesor MSc. Jorge Chaves por creer en mí desde el día que tuve el privilegio de conocerle, al profesor MSc. Alfonso Navarro por la confianza puesta en mí persona y su labor en esta meta personal.

A mí tutora Ph.D Jennifer Crowe por su enorme paciencia, comprensión, apoyo y todos sus conocimientos compartidos conmigo. Brindarme siempre esa incitación de ser mejor persona, mujer y profesional cada día en busca de la excelencia y calidad humana.

A mis compañeros (as) de maestría por ese intercambio cultural e interdisciplinario tan enriquecedor para mí persona. En especial a Marilú, Lucho, Sofí, Gabby, Mando, Andrea, Nathy y José.

Al director MSc. Andrés Robles y Tannia Araya por la oportunidad de ser parte de su proyecto de investigación. La aportación destacada de Grant Quiller de la Universidad de Washington en la estructuración del mismo. A Lic. Laura Brenes (EISHLA) por su amabilidad y disposición en asistirme en toda ocasión.

A los agricultores de AHSORI por su cooperación en el proyecto, especialmente a Don Eulogio y Don Germán Rivera por enseñarme el valor y significado de la agricultura.

A Joshua Castro del IMN, MSc. Leonel Córdoba del IRET por la elaboración de los mapas geográficos de esta investigación, Lic. Mauricio Salas del IRET por la inmensa ayuda técnica en mis años de estudio.

Finalmente reconocimiento honorífico a las personas que son mis pilares y familia en Costa Rica Stephanie, Jorge, Iván, Alexandra, Diana y mis roommates Guadalupe y Gabriel.

## **DEDICATORIA**

Primeramente a Dios y la Virgen María porque en mis momentos de completa soledad, tristezas, tribulaciones y desiertos siempre sentí su presencia a mi lado, mostrándome el camino que debía seguir y dándome esa fuerza interior.

A mis padres Jorge Sierra y María Elena Cárcamo por ser mi modelo, apoyarme incondicionalmente y económicamente en este anhelo personal, ser mi fuente de inspiración para poder superarme día a día y así poder luchar en la vida. Gracias a ellos por hacer de mí la mujer que soy hoy en día.

A mis hermanos Marco Antonio y Karen Elena por ser mí espejo en mi vida profesional.

A mi cuñada Rosa Montalvo y mi queridísimo cuñado Luis Navarrete por sus gestos de apoyo y amabilidad a cada uno de los favores solicitados.

A mis amigas Digna Rosa, René Carolina y Margarita Coello por siempre estar ahí para escucharme y darme sus palabras de aliento, de perseverancia para cumplir con mis ideales.

A las personitas que son la alegría en mi vida y motivación, mis sobrinos: María Esther, Jorge Luis, Elena Marie y el nuevo miembro de la familia Marco Alejandro.

A todos ustedes con amor.

Marcela

## ÍNDICE

RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VII
AGRADECIMIENTO.....	IX
DEDICATORIA .....	X
Lista de Cuadros .....	XIV
Lista de Figuras.....	XV
Lista de abreviaturas .....	XVII
Palabras claves.....	XIX
Lista de descriptores.....	XX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 La estructura del Sol.....	1
1.2 El espectro Solar .....	1
1.3 Radiación Visible.....	2
1.4 Radiación Ultravioleta.....	3
1.5 Índice Ultravioleta (UV) .....	4
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
4. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO .....	14
4.1 Irradiancia Ultravioleta Eritemática.....	15
4.2 Relación Irradiancia Efectiva de Eritemática y Dosis.....	17
4.3 The Standard Erythema Dose (SED) y su equivalencia radiométrica .....	18
4.4 The Standard Erythema Dose (SED) y su clasificación según fototipo de piel, sensibilidad y susceptibilidad a la Radiación Ultravioleta (RUV).....	18

5. OBJETIVOS .....	20
5.1 Objetivo General.....	20
5.2 Objetivos Específicos .....	20
6. METODOLOGÍA.....	21
6.1 Área de estudio .....	21
6.2 Selección y caracterización de fincas.....	23
6.3 Caracterización de la población participante y actividades.....	28
6.4 Encuesta higiénica y observación .....	34
6.5 Medición de irradiancia incidente sobre superficie horizontal.....	35
6.6 Análisis de datos .....	35
6.6.1 Análisis de la caracterización de la población, actividades, posturas ergonómicas, sitios anatómicos y equipo de protección utilizado .....	35
6.6.2 Análisis irradiancia incidente sobre superficie horizontal.....	36
6.6.3 Estimación de exposición diaria a la RUV en cada finca y época.....	36
7. RESULTADOS .....	38
7.1 Caracterización de la población, actividades, posturas ergonómicas, sitios anatómicos y equipo de protección utilizado .....	38
7.2 Irradiancia incidente sobre superficie horizontal.....	41
7.3 Estimación de la dosis estándar de eritema (SED) en los trabajadores.....	56
8. DISCUSIÓN .....	58
9. CONCLUSIONES.....	64
10. RECOMENDACIONES.....	65
11. BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXO 1 .....	73
APÉNDICE 1.....	74

APÉNDICE 2.....	75
APÉNDICE 3.....	76
APÉNDICE 4.....	77
APÉNDICE 5.....	78
APÉNDICE 6.....	79
APÉNDICE 7.....	80
APÉNDICE 8.....	81
APÉNDICE 9.....	82
APÉNDICE 10.....	83
APÉNDICE 11.....	84
APÉNDICE 12.....	85
APÉNDICE 13.....	86
APÉNDICE 14.....	87
APÉNDICE 15.....	88
APÉNDICE 16.....	89
APÉNDICE 17.....	90
APÉNDICE 18.....	91
APÉNDICE 19.....	92
APÉNDICE 20.....	93

## Lista de Cuadros

Cuadro 1. Fototipos de piel y características físicas de individuos. ....	16
Cuadro 2. Descripción de los fototipos de piel. ....	19
Cuadro 3. Comparación de zonas de estudio de la Provincia de Cartago. ....	22
Cuadro 4. Fincas participantes en el estudio 2015-2016. ....	24
Cuadro 5. Descripción demográfica de trabajadores en las fincas participantes (n=13). ....	28
Cuadro 6. Actividad o tarea según postura ergonómica en cada ciclo de producción. ....	38
Cuadro 7. Los sitios anatómicos expuestos de los trabajadores observados (n=34). ....	39
Cuadro 8. Irradiancia medida ( $w/m^2$ ) cada finca de estudio. ....	41
Cuadro 9. Irradiancia medida según época lluviosa (n=6) y época seca (n=10). ....	43
Cuadro 10. Comparación de Irradiancia máxima - Índice IMN. ....	47
Cuadro 11. Irradiancia promedio según hora de medición (n=16 días totales). ....	49
Cuadro 12. Irradiancia (Mínimos/Máximos) Época vs. Hora. ....	53
Cuadro 13. Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) según irradiancia y altitud medida. ....	56
Cuadro 14. Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) según irradiancia y época. ....	57

## Lista de Figuras

Figura 1. El Espectro Electromagnético, National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering 2016. ....	1
Figura 2. Radiación Visible 400-700 nm, National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering 2016. ....	2
Figura 3. Radiación Ultravioleta UVA UVB UVC, Medicina y Seguridad en el Trabajo, Instituto de Salud Carlos III 2011.....	4
Figura 4. Índice UV con Sistema de Protección propuesto por la Organización Mundial de la Salud 2003. ....	5
Figura 5. Índice Ultravioleta (UV) con Sistema de Protección utilizado por Instituto Meteorológico de Costa Rica 2016.....	6
Figura 6. "Curva Estándar de Eritema", McKinlay y Diffey 1987. *Curva de irradiancia solar a nivel del suelo (azul), espectro de acción eritemático (rojo) y producto de ambos UVER (negro).....	15
Figura 7. Mapa de zonas geográficas con puntos de muestreo.....	21
Figura 8. Selección y caracterización de las fincas en las zonas de estudio. ....	23
Figura 9. Ubicación de fincas en las zonas de estudio según su elevación.....	25
Figura 10. Visitas a las fincas de investigación, aplicación de encuesta higiénica y otros componentes del proyecto en las zonas de estudio. ....	26
Figura 11. Mediciones de campo en época lluviosa (noviembre 2015).....	27
Figura 12. Mediciones de campo en época seca (marzo 2016).....	27
Figura 13. Diagrama ciclo de producción de siembra (papa, zanahoria, cebolla).....	30
Figura 14. Diagrama ciclo de producción siembra de semillas o almácigos.....	31
Figura 15. Diagrama ciclo de producción de cosecha (papa, zanahoria, cebolla).....	32

Figura 16. Diagrama ciclo de producción cosecha de semillas o almácigos.....	33
Figura 17. Aplicación de encuesta higiénica y observación directa en las fincas participantes en el proyecto. ....	34
Figura 18. Los sitios anatómicos expuestos de los trabajadores observados (n=34).....	39
Figura 19. Fototipos de piel de la población estudiada (n=34). ....	40
Figura 20. Irradiancia W/m <sup>2</sup> medida por día según finca de estudio. ....	42
Figura 21. Irradiancia medida según época del año (lluviosa y seca).....	44
Figura 22. Altitud y los valores de irradiancia (W/m <sup>2</sup> ) medidos en las fincas de investigación. 46	
Figura 23. Irradiancia máxima de cada finca vs. Índice UV reportado por el IMN según categorías de exposición.....	48
Figura 24. Irradiancia promedio según hora de medición durante 16 días en la jornada laboral. .50	
Figura 25. Resumen de cada finca con la irradiancia y el comportamiento según las horas medidas 7:00 am – 13:30 pm.....	51
Figura 26. Medición en cada época de estudio y el comportamiento según las horas medidas....	52
Figura 27. Irradiancia máxima en época lluviosa (línea azul) y época seca (línea roja) vs. hora. .54	
Figura 28. Irradiancia mínima en época lluviosa (línea azul) y época seca (línea roja) vs. hora. .55	

## **Lista de abreviaturas**

**ACGIH:** American Conference of Governmental Industrial Hygienists

**AHSORI:** Asociación de Horticultores del Irazú de Tierra Blanca

**ARPANSA:** Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency

**CAREX:** Sistema Europeo de datos (Carcinógeno Exposición)

**CCSS:** Caja Costarricense de Seguro Social de Costa Rica

**CDC:** Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades de los EEUU

**CSO:** Consejo de Salud Ocupacional de Costa Rica

**EISHLA:** Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental

**IARC:** Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

**IFIR:** Instituto de Física Rosario de Argentina

**IMN:** Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica

**INEC:** Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

**INS:** Instituto Nacional de Seguros de Costa Rica

**ITCR:** Instituto Tecnológico de Costa Rica

**ICNIRP:** International Commission on Non- Ionizing Radiation Protection

**MAG:** Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica

**MINSA:** Ministerio de Salud de Costa Rica

**MINSAL:** Ministerio de Salud de Chile

**MTSS:** Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Costa Rica

**NM (nm):** Nanómetros

**OISS:** Organización Iberoamericana de Seguridad Social

**OIT:** Organización Internacional de Trabajo

**OMM:** Organización Meteorológica Mundial

**OMS:** Organización Mundial de la Salud

**PEA:** Población Económicamente Activa

**PIB:** Producto Interno Bruto

**REM:** Radiación Electromagnética

**RNT:** Registro Nacional de Tumores de Costa Rica

**SALTRA:** Programa de Salud, Trabajo y Ambiente

**SEPSA:** Secretaria Ejecutiva de Planificación del Sector Agropecuario de Costa Rica

**UNEP:** Programa Medioambiental de las Naciones Unidas

**ZEEC:** Zona Económica Especial de Cartago

### **Palabras claves**

exposición, radiación ultravioleta, agricultura, trabajador, salud ocupacional.

## Lista de descriptores

**Agujero de Ozono:** Corresponde a un adelgazamiento de la capa de ozono sobre la Antártica y Ártico.

**Albedo:** Reflectividad de la superficie terrestre y se refiere a la energía reflejada por los diferentes tipos de superficie terrestre.

**Altitud:** Trayecto vertical de un punto de la superficie terrestre respecto al nivel del mar.

**Ángulo Cenital Solar:** Define el camino de la radiación a través de las capas atenuadoras de la atmósfera.

**Atmósfera Terrestre:** en su conjunto se comporta como un filtro complejo en el que todas las especies presentes mayoritariamente (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) ofrecen diferentes intervalos de barrera para la radiación.

**Biopsia:** Extracción de una muestra de tejido de un organismo vivo para su estudio y análisis microscópico posterior, con la ayuda del instrumento adecuado en cada caso: trocates especiales, incisiones quirúrgicas, pinzas quirúrgicas, sondas, agujas finas o gruesas. Dependiendo de la situación y del órgano, puede hacerse con la observación directa quirúrgica de un órgano interno (biopsia abierta), con control radiográfico, a ciegas, etc.

**Calentamiento Global:** Conocido también como *Cambio Climático* se refiere al aumento gradual de la temperatura de la atmósfera y océanos en la Tierra y una variación en los patrones meteorológicos a largo plazo.

**Cáncer:** Tumor de características malignas, que se caracteriza por el crecimiento incontrolado de las células, la infiltración de los tejidos adyacentes y su crecimiento a distancia (metástasis).

**Capa de Ozono:** Capa que rodea a la tierra y la protege de los peligrosos rayos ultravioleta B provenientes del sol. El ozono se produce mediante el efecto de la radiación solar sobre el oxígeno y es la única sustancia en la atmósfera que puede absorber la radiación ultravioleta.

**Carcinoma de células basales:** Cáncer de la piel no-melanoma más común. Se origina en la capa más profunda de la epidermis, llamada la capa de células basales. Por lo general se origina

en áreas expuestas al sol, especialmente la cabeza y el cuello. El cáncer de células basales crece lentamente y es poco probable que se propague a partes distantes del cuerpo.

**Carcinoma de células escamosas:** Cáncer que se origina en las células no glandulares, (por ejemplo, la piel).

**Carcinoma:** Cáncer formado a expensas del tejido epitelial de los órganos, con tendencia a difundirse y producir metástasis. Se trata de un tipo de tumor, el más frecuente en numerosos órganos y que se origina en tejido epitelial. A su vez, puede clasificarse en diversos tipos. El 80% de todos los tumores cancerosos son carcinomas.

**Constante Solar:** Es la energía media por unidad de área y tiempo que alcanza nuestra atmósfera.

**Curación:** Cuando un paciente se encuentra libre de enfermedad después de 5 años del tratamiento inicial.

**Diagnóstico:** Definir un proceso patológico diferenciándolo de otros.

**Dosis de referencia de eritema ( $J/m^2$ ):** La cantidad de energía biológicamente eficiente para producir enrojecimiento en la piel en un individuo. Se define como la unidad de energía radiante UV-B ponderada que produce un eritema apenas perceptible en la piel tipo 2 (piel clara) y es equivalente a 210 Joules por metro cuadrado ( $J/m^2$ ).

**Efecto Invernadero:** El calentamiento que se produce cuando ciertos gases de la atmósfera de la Tierra retienen el calor. Estos gases dejan pasar la luz pero mantienen el calor como las paredes de cristal de un invernadero.

**Elíptica:** Forma geométrica que tiene la órbita de la tierra.

**Envejecimiento prematuro:** Cambios y condiciones comunes que le ocurren a la piel y esta relacionado a la sobreexposición solar del individuo; también influyen factores ambientales, genéticos, nutrición y otros.

**Eritema:** Es un enrojecimiento de la piel que normalmente aparece de cuatro a ocho horas después de la sobre exposición a la radiación ultravioleta y desaparece gradualmente al cabo de unos días.

**Feomelanina:** Tipo de melanina cuyo pigmento es pardo, es capaz (bajo radiación UV) de originar gran cantidad de radicales libres muy fuertes con suficiencia para deteriorar las membranas celulares.

**Fotobiología:** Relación entre la parte correspondiente al espectro electromagnético solar y las consecuencias tras una exposición a la radiación ultravioleta, luz visible, infrarrojo.

**Fotomedicina:** Disciplina que estudia los cambios físicos y químicos inducidos en el sistema biológicos humano por las radiaciones comprendidas entre 180 nm y 1 milímetro del espectro electromagnético.

**Fotoprotector:** Acción protectora frente a los rayos ultravioleta del sol.

**Fotoqueratitis:** Quemadura o irritación de la córnea del ojo humano por la radiación ultravioleta.

**Fototipo Cutáneo:** La susceptibilidad individual (tipo de piel), en función de la sensibilidad a la radiación ultravioleta y se clasificación en fototipo cutáneo I, II, III, IV, V, VI.

**Fototóxicas:** Es una reacción cutánea como edemas, enrojecimiento, inflamación de la piel en consecuencia de la exposición a la luz o sol.

**Índice UVI o Index:** El IUV es una unidad de medida sencilla de la intensidad de la radiación ultravioleta proveniente del sol sobre la superficie terrestre.

**Irradiancia Ultravioleta Eritematicamente Activa (UVER):** Determina la curva espectral de la radiación solar incidente a nivel del suelo con la curva del espectro de acción del eritema humano.

**Irradiancia UV:** La potencia solar incidente en una superficie por unidad de área y unidad de estereoradian. El término irradiancia se utiliza para indicar la potencia solar incidente en una superficie por unidad de área, y se mide en  $W/m^2$ .

**Kelvin (K):** Unidad de temperatura o escala absoluta donde el cero equivale  $-273.16^{\circ}\text{C}$ .

**Latitud:** Trayecto angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador; se mide en grados, minutos y segundos sobre los meridianos.

**Melanina:** Pigmento de color negro o marrón oscuro que hay en la piel, el pelo, el iris y la coroides del ojo. Una de sus funciones es proteger al cuerpo de los rayos ultravioletas.

**Melanocitos:** Célula de la epidermis que se encarga de producir melanina. La función de la melanina es bloquear los rayos ultravioleta del sol, para evitar que se dañe el ADN de las células de la piel expuestas a la luz.

**Melanoma:** Tumor maligno constituido por melanoblastos. Aparecen como manchas negras o marrones en la piel y mucosas.

**Minimum Erythemat Dose (MED):** cantidad de UV eritemática requerida para producir un eritema apenas perceptible en personas con piel de tipo 1 tras un intervalo de 8 a 24 horas de exposición a la radiación UV.

**Nubosidad:** Representación de nubes en la atmósfera.

**Órbita:** Línea o trayecto que recorre un cuerpo alrededor de otro, mediante la acción de la gravedad.

**Ozono Estratosférico:** Se encuentra en una capa entre 10 y 50 km sobre el nivel del mar, con una concentración máxima de alrededor 10 partes por millón a una altitud de 25 km. La cantidad total de ozono atmosférico es variable, pero equivalente a una capa de 0.30 cm de espesor a una temperatura y presión estándar.

**Piel:** Órgano más extenso del cuerpo, tiene una extensión aproximada de  $1,8\text{ m}^2$ . Cumple múltiples funciones como mantener la forma del cuerpo, proteger de las agresiones externas (microorganismos, radiación ultravioleta, traumas mecánicos), regula la pérdida de agua y la temperatura corporal, sirve para establecer relaciones sensoriales con el medio ambiente y tiene su propio sistema inmunológico. La piel está constituida por 3 capas; epidermis, dermis y la hipodermis.

**Quemadura Solar:** Es el enrojecimiento de la piel que le ocurre después de exponerse al sol.

**Quimioterapia:** Tratamiento de determinadas enfermedades mediante agentes químicos.

**Radiación Electromagnética (REM):** es un espectro continuo de todos los tipos de radiación dentro del espectro electromagnético.

**Radiación Ultravioleta (RUV):** Es un tipo de onda electromagnética considerada no ionizante que cubre el intervalo de longitudes de onda de 100 a 400 nm.

Se divide en tres tipos: UVA, UVB y UVC.

**Radioterapia:** Utilización de rayos X de alta potencia, partículas o núcleos radioactivos para destruir las células cancerígenas.

**Standard Erythemal Dose:** Es la medida estandarizada de la radiación ultravioleta eritemogénica, donde 1 SED es equivalente a un eritema de exposición radiante efectiva de 100 J/m<sup>2</sup>.

**Superficie Terrestre:** Donde se producen los diferentes componentes de la radiación (directa, difusa, reflejada) mediante los procesos de dispersión, absorción y reflexión.

**Temperatura de Ignición:** Temperatura mínima en la que se produce ignición en condiciones determinadas sin la presencia de una ignición provocada.

**Temperatura:** Una magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente.

**Topografía:** Ciencia aplicada con un conjunto de métodos e instrumentos necesarios para representar gráfica o numéricamente el terreno con todos sus detalles, naturales o artificiales.

**UVA (Radiación ultravioleta A):** Aquella que posee una longitud de onda entre los 315 y los 400 nanómetros. Llega casi completamente a la superficie de la tierra. Es responsable de parte del bronceado, produciendo principalmente el envejecimiento de la piel. Representa cerca del 95% de la radiación UV que llega a la superficie terrestre.

**UVB (Radiación ultravioleta B):** Aquella que posee una longitud de onda entre los 280 a los 315 nanómetros. Representa sólo un 0,25% de toda la radiación solar que llega a la superficie de la tierra. Llega a la tierra muy atenuada porque es absorbida por el ozono, reflejada por los aerosoles y principalmente atenuada por la cubierta de nubes.

**UVC (Radiación ultravioleta C):** Aquella que posee una longitud de onda entre los 100 y los 280 nanómetros.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 La estructura del Sol

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y la única fuente de energía que tiene ésta para desarrollar los procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en ella, siendo despreciables otras aportaciones (Lleó, 2015). En su núcleo se da una reacción en cadena protón-protón, a una temperatura de ignición de 107 K aproximadamente, que da lugar al proceso de fusión (Serrano Jareño, 2013). La energía media por unidad de área y tiempo que alcanza nuestra atmósfera se denomina Constante Solar.

## 1.2 El espectro Solar

El espectro de radiación que emite el sol (Figura 1), similar al de un cuerpo negro aproximadamente 6000 K, es un espectro continuo de todos los tipos de radiación electromagnética (REM). En el espectro, la REM es ordenada generalmente de acuerdo a su longitud de onda ( $\lambda$ ) o frecuencia ( $\nu$ ) (National Institute of Health, 2016).

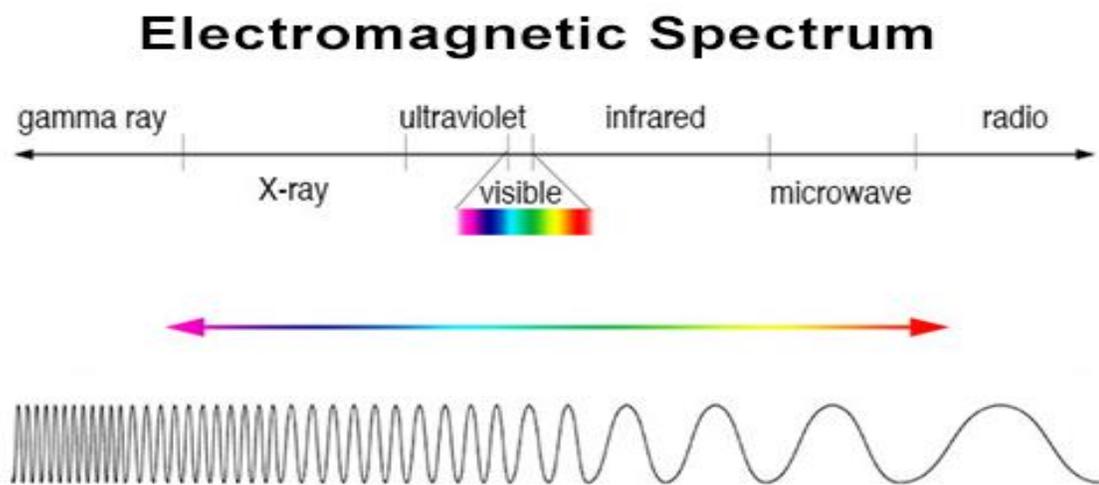


Figura 1. El Espectro Electromagnético, National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering 2016.

La mayor parte de la radiación solar es emitida en la parte visible y del infrarrojo cercano del espectro, por lo que la mayor contribución a la constante solar procede de estas longitudes de onda. De hecho aproximadamente un 99% de la radiación solar se emite en el intervalo de longitudes de onda de 300 nm a 6.000 nm, mientras que la radiación ultravioleta entre 120 nm y 300 nm contribuye con 1%. Las longitudes de onda correspondientes a los rayos X, que sufren fluctuaciones inmensas, contribuyen de forma insignificante al total. Hay una variación anual de  $\pm 3.5\%$  respecto a la media, debido a la forma elíptica de la órbita de la Tierra (Serrano Jareño, 2013).

### 1.3 Radiación Visible

La radiación entre 400 y 700 nm corresponde a lo que normalmente llamamos luz (aunque hoy en día se suele utilizar el término luz como sinónimo abreviado de radiación electromagnética), es el espectro visible, y sus distintas longitudes de onda son los distintos colores, con el violeta hacia los 400 y el rojo hacia los 700 nm, como se muestra en la (Figura 2). La luz visible es la parte del espectro donde la radiación solar alcanza su máximo.

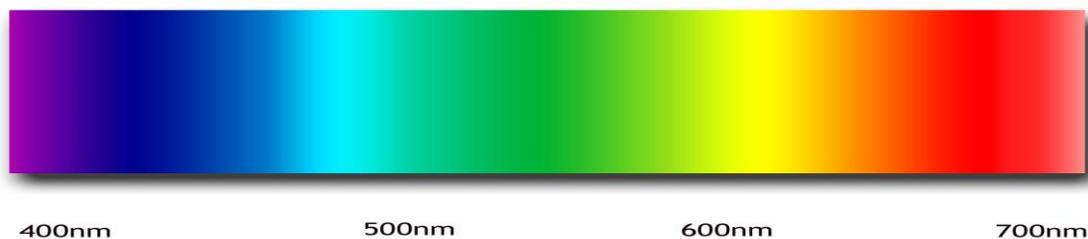


Figura 2. Radiación Visible 400-700 nm, National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering 2016.

## 1.4 Radiación Ultravioleta

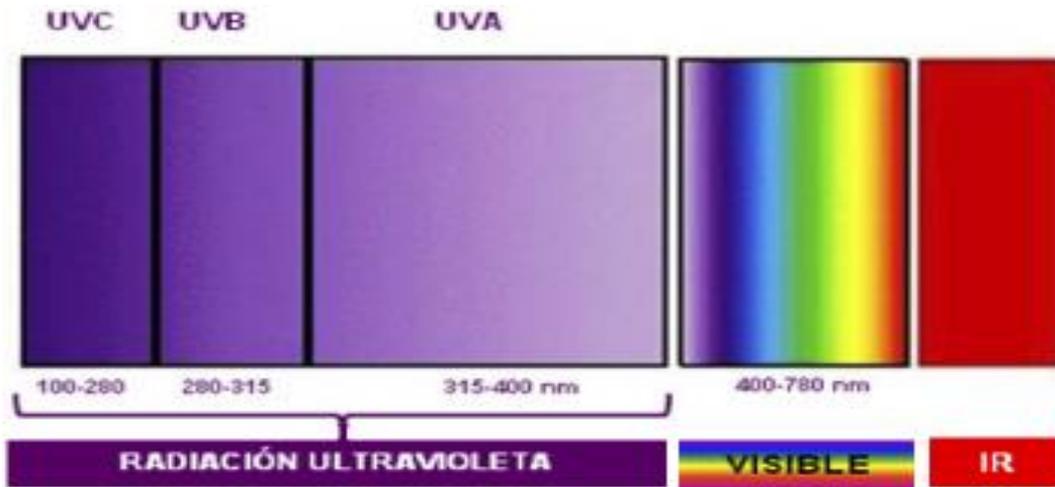
La radiación ultravioleta (UV) abarca las longitudes de onda del espectro electromagnético comprendidas entre 100 y 400 nm. Considerada como parte del espectro de la radiación que llega al límite de la atmósfera procedente del sol, su intensidad es bastante menor, del orden del 7.86% del total, que la correspondiente a la radiación en las zonas visible e infrarrojo próximo del espectro.

En función de los efectos que produce sobre los seres vivos la radiación UV se divide en tres zonas:

**Ultravioleta C (UVC):** corresponde a 0.5% de la radiación UV, corresponde a la radiación por debajo de los 280 nm. Es absorbida totalmente por el ozono estratosférico de manera que no llega a alcanzar la superficie terrestre (Cortés Aguilera et al., 2011; Knave, 2000; Serrano Jareño, 2013).

**Ultravioleta B (UVB):** corresponde a 1.25% de la radiación UV, es la comprendida entre 280 y 315 nm (algunos autores llegan a los 320 nm). Es de tres a cuatro órdenes de magnitud más energética que la UVA (McKinlay, A.F. & Diffey, 1987). Casi el 90% es absorbida por el ozono estratosférico pero el porcentaje que llega a la superficie terrestre afecta a los seres vivos produciendo enrojecimiento de la piel más o menos severo, denominado eritema solar y también quemaduras, envejecimiento de la piel, melanomas, fotoqueratitis, u otras condiciones de salud (Cortés Aguilera et al., 2011; Knave, 2000; Serrano Jareño, 2013).

**Ultravioleta A (UVA):** corresponde a 6.11% de la radiación UV, corresponde a la radiación UV de longitud de onda superior a los 315 nm (hasta 400 nm donde empieza la luz visible). La intensidad de la UVA que alcanza la superficie terrestre es muy superior a la correspondiente a la UVB, aunque resulta menos perjudicial, siendo sus efectos similares pero necesitando una dosis 1000 veces superior a la de la UVB para causar los mismos efectos (Cortés Aguilera et al., 2011; Knave, 2000; Serrano Jareño, 2013).



*Figura 3.* Radiación Ultravioleta UVA UVB UVC, Medicina y Seguridad en el Trabajo, Instituto de Salud Carlos III 2011.

### 1.5 Índice Ultravioleta (UV)

A mediados de los años 80 y debido a la alarma social creada por la observación del crecimiento del agujero de la capa de ozono del Hemisferio Sur (UNEP, 2014), se pensó en la necesidad de introducir índices para la predicción de las dosis de radiación UV incidente a nivel del suelo, cuya finalidad era facilitar información a la opinión pública sobre los niveles que alcanza dicha radiación sobre la superficie terrestre, sus efectos nocivos y los medios para protegerse.

Los métodos de cálculo, predicciones diarias y la presentación de informes variaban de país a país en los años 80 y los años 90, y los métodos de cálculos entre los países eran incompatibles.

Finalmente, en 1995 la Comisión Internacional de Protección frente a la Radiación no Ionizante (ICNIRP), en colaboración con la WHO (Organización Mundial de la Salud), la WMO (Organización Meteorológica Mundial) y la UNEP (Programa Medioambiental de las Naciones Unidas) elaboraron recomendaciones redefiniendo el índice de radiación ultravioleta (UV Index o UVI), de manera que éste debe entenderse como una unidad de medida y no sólo como un valor máximo diario (ICNIRP, 2010; OMM, 1998; OMS, 1995).

El valor numérico del UV Index o UVI Mundial se calcula a partir de la integración de la irradiancia UV para todas las longitudes de onda (hasta los 400 nm), y multiplicando el valor de la irradiancia UV por 40 (expresado en W/m<sup>2</sup>). Finalmente se expresa el resultado mediante el número entero más próximo entre 0 y 16 (sin decimales) (Figura 4).

A raíz de los enormes problemas de salud generados por la radiación ultravioleta se creó el índice relativo a la acción eritemática (UV) de la radiación UVB, nombrado como UVER porque esta longitud de onda es la más dañina a los seres humanos. Las primeras predicciones se dieron en Australia en los años 90 (Roy C.T., Gies, H.P. & Graeme, 1990) y Nueva Zelanda (McKenzie, 1998) basándose en los valores de la Minimum Erythermal Dose (MED) y de tiempo de exposición para provocar quemaduras respectivamente.



Figura 4. Índice UV con Sistema de Protección propuesto por la Organización Mundial de la Salud 2003.

En Costa Rica la predicción del Índice Ultravioleta es realizado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) utilizando la metodología recomendada por el Instituto de Física del Rosario de Argentina (IFIR) y sugerida en el marco de los Consensos de Santiago de Chile (2006) y Porto Alegre (2008) para países donde las radiaciones ultravioletas son más extendidas y llegan de manera directa perpendicular (IFIR, 2016; Piacentini et al., 2009), como parte de los 3ros y 4tos Congresos Latinoamericanos de Fotomedicina y Fotobiología del Consenso de Quito, durante la Jornada Índice UV en 2009. En Costa Rica se publica un pronóstico diario, calculado y emitido con 24 horas de antelación, de la cantidad de radiación ultravioleta que recibe la superficie de la Tierra durante la hora de mayor iluminación solar, que generalmente se ubica alrededor del

mediodía verdadero (aunque no coincide exactamente con las 12:00 de la hora convencional) (IMN, 2016).

Esta predicción se deriva de la combinación de cinco elementos: 1) latitud, 2) día del año, 3) cantidad total de ozono sobre la zona, 4) elevación sobre el nivel del mar, y 5) cantidad de masa nubosa. Tiene una escala de 0 a 20 como máximo, al que se le ha categorizado la exposición mediante cinco descriptores (mínima, baja, moderada, alta, muy alta) que se emplea para explicar la intensidad de cada uno de los valores. (IMN, 2016) (Figura 5).



Figura 5. Índice Ultravioleta (UV) con Sistema de Protección utilizado por Instituto Meteorológico de Costa Rica 2016.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se ha incrementado el interés por el desenfrenado calentamiento global, efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono (B. Diffey, 2004; Lucas, McMichael, Smith, & Armstrong, 2006; National Geographic Society, 2013a, 2013b; UNEP, 2014). Desde 1995 el Instituto Meteorológico Nacional ha venido estudiando el posible impacto del cambio climático sobre la agricultura en Costa Rica y la biología de los cultivos (positivamente/negativamente) (IMN, 2016).

Costa Rica se caracteriza por una agricultura primaria en cultivos que representan el 82% de las tierras agrícolas del país como el café, banano, piña, melón, caña de azúcar naranja, arroz, frijoles, palma de aceite y hortalizas entre otros (CEPAL, FAO, & IICA, 2014; MAG, 2013, 1991; Robles & Arias, 2013).

La agricultura en el país representa el 15% del Producto Interno Bruto y 20% de la fuerza laboral (MAG, 2013). A su vez trae consigo unas innumerables afectaciones a la salud de la población económicamente activa (*PEA*) que trabajan en esta industria (Robles & Arias, 2013).

La población económicamente activa en la producción y recolección de monocultivos se ven expuesta a condiciones fisicogeográficas, culturales, macroeconómicas, laborales, de mercado, higiénicas y habitacionales diferentes a sus lugares de origen y en muchos casos, estas son deficientes (Monge-Pérez, 2014; SALTRA, 2006).

Actualmente en Costa Rica, con una población total aproximadamente de 4.3 millones de habitantes (INEC, 2011), la población trabajadora en Costa Rica en agricultura representa 12.7% de la población económicamente activa de todo el país (SEPSA, 2013), mucha de ella incorporada al sector informal o economía informal, representa un grupo de personas más susceptibles a contraer cáncer. El órgano más dañado es la piel por la exposición al sol, y un 25% tiene riesgo de sufrir cáncer de piel de la población económicamente activa de Costa Rica (Chaves et al., 2005; SALTRA/CAREX, 2013).

En relación a la Región Centroamericana según datos recopilados por la Organización Internacional de Trabajo (OIT) y la Organización Iberoamericana de Seguridad Social (OISS),

los trabajadores dedicados a la agricultura presentaron los porcentajes más altos de exposición (>75%) en su jornada laboral e incidencia de cáncer de piel (OISS, 2010; OIT, 2010).

Costa Rica reporta tasas de incidencia en otros cánceres y encontramos en mujeres: el cáncer de mama (40.1 incidencia en incremento), de estómago (17.4) y de cérvix (16.9). En relación a los hombres, los cánceres más usuales son de próstata (55.8 en incremento), de estómago (21.9) y de pulmón (10.4) (Partanen, Monge, & Wesseling, 2009).

El cáncer de piel es el que más afecta la población costarricense; 50 de cada 100 mil costarricenses son diagnosticados con cáncer de piel, lo que representa el 25% de las causas de cáncer a nivel nacional (CCSS, 2013).

Según datos analizados por la Caja Costarricense de Seguro Social con base en datos del Registro Nacional de Tumores del Ministerio de Salud, la incidencia de cáncer de piel a nivel nacional aumentó 23% en 2011 (CCSS, 2013), lo que representa 2321 casos; para el 2016 se incrementó un 65% en los casos ya que se registra 2333 enfermos por cada 100 mil habitantes (CRHoy, 2016).

Se debe mencionar que los dos tipos de cáncer de piel más común el carcinoma basocelular y el carcinoma espinocelular, tienen altas probabilidades de curación, pero pueden causar desfiguración y ser costosos (Bauer, Beissert, & Knuschke, 2015; CCSS, 2013; Piedra, 2014; Turner, Forman, McNamee, Wilkinson, & Agius, 2015).

El melanoma, el tercer tipo de cáncer de piel más común, es más peligroso y causa la mayor cantidad de las muertes (CDC, 2015; Kramer et al., 2015).

Es sumamente alarmante darse cuenta que en Costa Rica cada 4 horas se presenta un caso nuevo de cáncer de piel y que cada día hay 6 casos nuevos y cada mes fallecen 6 personas a raíz del cáncer de piel (CCSS, 2013).

Costa Rica reporta tasas de incidencia por cada 100.000 habitantes en cáncer de piel, en 50.8/100.000 habitantes mujeres y 55.7/100.00 habitantes hombres, con mayor frecuencia en personas mayores de 50 años, debido a mayor exposición solar (CCSS, 2013).

Aunque todas las personas tienen algún riesgo de desarrollar cáncer de piel, a lo largo de su vida; según Knave la mayor exposición de origen profesional a la RUV la experimentan quienes trabajan al aire libre o bajo la luz del sol (Antonov, Hollunder, Schliemann, & Elsner, 2016; ARPANSA, 2006; Knave, 2000; MINSAL, 2011).

Engloba mencionar específicamente otras ocupaciones cuyas exposiciones han sido documentadas como construcción (Serrano, Cañada, & Moreno, 2013), los trabajadores de transporte en carretera (Si et al., 2016), los mineros (Instituto Nacional de Silicosis, 2014), los granjeros (Kearney, Xu, Balanay, & Becker, 2014), vendedores de calle (Escanilla, Albarrán, & Gúzman, 2013), deportistas como ciclistas (Serrano, Cañada, & Moreno, 2010), esquiadores (Casale et al., 2015) y escolares (Wright et al., 2013).

La energía de la radiación solar está muy atenuada por la capa de ozono de la Tierra, que limita la RUV terrestre a longitudes de onda superiores a 290-295 nm. La energía de los rayos de corta longitud de onda (UVB), más peligrosos, de la luz solar depende considerablemente de su trayectoria oblicua en la atmósfera, varía con la estación y la hora del día (Grigalavicius, Moan, Dahlback, & Juzeniene, 2016; Knave, 2000; Rafieepour, Ghamari, Mohammadbeigi, & Asghari, 2015).

La exposición a radiación solar en poblaciones agrícolas abarca a todo el mundo tanto países desarrollados (Antonov et al., 2016; Kearney et al., 2014; Miligi et al., 2013; Nardini, Neri, & Paroncini, 2014; Siani et al., 2011; Vernez et al., 2015), como países en vías de desarrollos.

Aunque la cantidad de investigaciones cuantificando la exposición a la RUV en poblaciones agrícolas es limitada, existe evidencia concreta en diferentes países. Por ejemplo en la revisión de literatura científica sobre comportamiento e intervenciones Antonov et al. utilizó una metodología basada en una entrevista y encuesta estructurada concluyendo que la demanda pública de factores de riesgos del cáncer de piel está en hombres maduros particularmente; Kearney et al. concluye que las intervenciones para mejorar las protecciones en los trabajadores agrícolas han sido efectivas pero estas varían según área geográfica, resultando en la necesidad de más investigación y educación “agresiva” para estas poblaciones; Miligi et al. aplicó una metodología basada en cuestionario para recopilar información individual de los trabajadores agrícolas y se complementó con mediciones ambientales y personales. Se diagnosticó cáncer de

piel no detectado en trabajadores además el estudio mostró la complejidad de la exposición a la RUV; Nardini et al realizó una evaluación del riesgo a la RUV y la distribución anatómica en el cuerpo durante un ciclo de producción en agricultores, concluyendo la fuerte prevención de los riesgos asociados a la RUV; Siani et al cuantificó la exposición a la RUV utilizando dosimetría de polisulfona en trabajadores en viñedos, concluyendo que los valores obtenidos fueron superiores al límite; Schmalwieser et al cuantificó la RUV con dosímetros optoelectrónicos en agricultores a tiempo completo, se concluyó que reducir la exposición diaria en un 40% podría disminuir el riesgo de desarrollar cáncer de piel; Vernez et al utilizó una metodología muy avanzada que consiste en datos satelitales de la RUV en combinación con un simulador (SimUVEx) para la distribución anatómica, concluyendo el papel de los factores individuales en la exposición anatómica, clasificando las partes del cuerpo más expuestas y las ocupaciones al aire libre de notabilidad.

La RUV y la exposición personal sobre un sistema biológico específico se cuantifica mediante un dosímetro personal o ambiental (Gurrea, 2014). Un dosímetro personal es capaz de evaluar la exposición a la RUV en condiciones exactas, lo que incluye el cambio de posición del trabajador y la orientación de la superficie horizontal. En otras investigaciones se reporta el uso de dosímetros personales de tipo físico como los microsensores-electroópticos (Miligi et al., 2013; Nardini et al., 2014; Schmalwieser et al., 2010; Vernez et al., 2015); Los dosímetros personales de tipo químico con polisulfona termoplásticas (Serrano, Cañada, Moreno, & Gurrea, 2014; Siani et al., 2011; Siani, Casale, Modesti, & Colosimo, 2014). Los dosímetros personales de tipo biológicos de biofilms, de esporas y los de fotosíntesis modelos in Vitro. En esta investigación se utilizó un dosímetro ambiental (radiómetro).

Es una problemática global: a nivel mundial la mayor incidencia se reporta en Australia mientras que a nivel de Latinoamérica se reporta mayor incidencia en Argentina y Ecuador (ARPANSA, 2006; Mannelje et al., 2014; Schmalwieser et al., 2010).

En los países desarrollados las directrices para protección contra la radiación ultravioleta (i.e. uso de equipo de protección, gestión del riesgo, buenas prácticas de trabajo) se cumplen con más firmeza que en los países en vías de desarrollo sin embargo los trabajadores agrícolas son los más afectados en ambos casos, y sus padecimientos son los mismos (Cohen & Kurzrock, 2015;

Gobba, 2012; Karlica-Utrobicić, Batistić, & Urlić, 2014; Martins-Filho, Da Silva, & Piva, 2011; Schmalwieser et al., 2010), resultando ser poblaciones que merecen atención en Costa Rica y el mundo.

Este proyecto buscó llenar un vacío de conocimiento a este problema en Costa Rica, con el fin de aportar conocimiento nuevo pertinente para el sector agrícola, la Caja Costarricense de Seguro Social, el Consejo de Salud Ocupacional, y sobre todo, para el beneficio de los trabajadores agrícolas a nivel nacional.

### 3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación de esta investigación radica en la realidad del conocido trabajo de agricultura, las poblaciones agrícolas y las personas involucradas en ella por los altos porcentajes de la jornada laboral trabajando a la intemperie. Por tal motivo se consideró oportuno y necesario realizar un estudio para conocer la situación actual, valorar la exposición a este agente físico, y hacer conciencia de las medidas de prevención que se deben tomar en el caso. El presente proyecto de investigación es un componente de un proyecto de investigación y extensión más amplio *“Modelo de exposición ocupacional a radiaciones ultravioletas (UVA/UVB) en los trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago”* propuesto por la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental (EISLHA), del Instituto Tecnológico de Costa Rica cuyo objetivo general es *“Caracterizar la exposición ocupacional a radiación ultravioleta en trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago”*.

La Gran Área Metropolitana está compuesta por San José, Alajuela, Heredia y Cartago. En relación la provincia de Cartago excepto el distrito de Corralillo y parcialmente los de San Francisco y Dulce Nombre se encuentra entre 09° 47' 15" latitud norte y 83° 55' 41" longitud oeste, con una anchura máxima de cuarenta y tres kilómetros, en dirección noroeste a sudeste, desde unos 700 metros al noreste de la planta eléctrica María del Rosario, sobre el río Tiribí, hasta unos 2800 metros al este de la cima del cerro Jaboncillo, Carretera Interamericana que une las ciudades Cartago y San Isidro de El General (Brenes Rodríguez, 2011; ZEEC, 2012).

La provincia de Cartago representa características importantes en el sector agrícola con la producción de diferentes ornamentales, tubérculos, hortalizas y vegetales, representa el 11% de la población total del país con un total de 510 727 habitantes (INEC, 2011, 2015), ubicada como la tercera provincia más poblada del país después de San José y Alajuela. En comparación a otras provincias Cartago representa una buena dinámica con respecto al componente económico relacionado directamente con la agricultura. Un total de 47% de la Población Económicamente Activa en Cartago esta relacionado directamente con la agricultura (INEC, 2011; ZEEC, 2012).

En relación a la totalidad del país, la agricultura representa una respuesta al valor económico y socioeconómico *(el 15% del Producto Interno Bruto y 20% de la Fuerza Laboral (1. 4 millones de hombres y 916 mil para las mujeres)* (INEC, 2011; MAG, 2013).

Hasta el momento, el único dato relacionado con exposición a radiación UV ha sido el Índice Ultravioleta reportado por el Instituto Meteorológico Nacional. Aún que la publicación del Índice es útil para ayudar a la población en general para tomar precauciones, existen limitantes: no está diferenciado por zonas específicas generando variaciones según las altitudes, latitudes, longitudes y clima local; es un pronóstico (no una medición), no existe un registro de predicciones ni mediciones de meses y/o años anteriores de acceso público, y no incluye ningún cálculo relacionada a las dosis estándar de eritemas en las personas.

La presente investigación representa la primera generación de datos en el país sobre la exposición a radiación ultravioleta en trabajadores agrícolas y algunas de las variables como tiempo de exposición, tipo de piel, equipo de protección personal, posturas de trabajo y posibles diferencias entre la época seca y la época lluviosa que pueden incidir sobre el riesgo para los trabajadores. Esta información servirá para tomar medidas de prevención más apropiadas, diseñar investigaciones sobre la exposición a otros trabajadores y zonas del país y proponer soluciones reales en beneficio de los trabajadores agrícolas con una visión de seguir mejorando.

Esta investigación representa un primer paso en reducir la exposición a radiación ultravioleta en poblaciones de trabajadores. No cabe duda que esto podría tener resultados positivos no solo para los trabajadores afectados reduciendo la incidencia y mortalidad asociada con cáncer de piel y otros efectos negativos de la RUV, pero también para el sistema de salud donde una disminución en los costos de tratamientos por desfiguraciones (aproximadamente ¢ 83,855 por una biopsia de piel, más procedimientos quirúrgicos ¢405,750)<sup>1</sup>, y tratamiento por cáncer que representa para la Caja Costarricense de Seguro Social por radioterapia y quimioterapia (utilización de equipo Ortho-Voltaje para Radioterapia Superficial en Hospital México con un costo de ¢ 317,6 millones)<sup>2</sup> podría ser significativo (CCSS, 2013; CRHoy, 2016; Piedra, 2014).

---

<sup>1</sup> La nación.

<sup>2</sup> Gobierno de CR.

#### 4. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

La radiación solar que llega a través de la atmósfera a la superficie de la Tierra se analiza y se cuantifica en forma de potencia, que se denomina irradiancia, o bien en forma de energía integrada en intervalos de tiempos dados, frecuentemente diarios y horarios, a la que se denomina energía radiante o irradiación indistintamente.

La irradiancia es la potencia incidente por unidad de superficie y en unidad de tiempo. Su unidad empleada es el  $W/m^2$ .

La irradiación (energía radiante) es la energía recibida por unidad de superficie y durante un período de tiempo determinado. Esta se obtiene integrando el valor de la irradiancia durante ese mismo período de tiempo. La unidad de medida empleada habitualmente para medir la irradiación es el  $J/m^2$  o múltiplos de esta unidad.

Esta energía o potencia, por los procesos que sigue al atravesar la atmósfera alcanza la superficie terrestre en diferentes formas o componentes de la radiación que son básicamente:

- *La componente directa*, radiación que no ha sido interferida por la atmósfera terrestre y que tiene una dirección perfectamente definida por la hipotética línea que une a la Tierra y el Sol. Es la que produce sombras (Serrano Jareño, 2013).
- *La componente difusa*, radiación solar que ha sufrido procesos de dispersión por los componentes de la atmósfera y proviene de todos los puntos de la bóveda celeste. Una porción de esta radiación difusa regresa al espacio y una porción alcanza el suelo. Es la radiación existente en un día cubierto (Serrano Jareño, 2013).
- *La componente reflejada*, es aquella radiación directa y difusa, que a su vez ha sido reflejada por la Tierra u obstáculos circundantes, incide sobre la superficie en cuestión (Serrano Jareño, 2013).

#### 4.1 Irradiancia Ultravioleta Eritemática

El estudio de los efectos eritemáticos de la radiación solar se realiza a partir de la denominada irradiancia ultravioleta eritemáticamente activa (UVER) que se determina derivando la curva espectral de la radiación solar incidente a nivel del suelo con la curva del espectro de acción del eritema humano.

Los primeros estudios sobre el eritema solar se abordaron hace más de 70 años quedando establecido que dicho espectro muestra un máximo absoluto en los 297 nm y un mínimo relativo en los 280 nm (B. L. Diffey, 1982). La CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) adoptó en 1987 una "Curva Estándar de Eritema" (Figura 6), propuesta originariamente por Coblenz y Stai (Coblenz, M.W. & Stair, 1934) y establecida de forma definitiva por McKinlay y Diffey (McKinlay, A.F. & Diffey, 1987), que es la utilizada en la actualidad para determinar la irradiancia UVER.

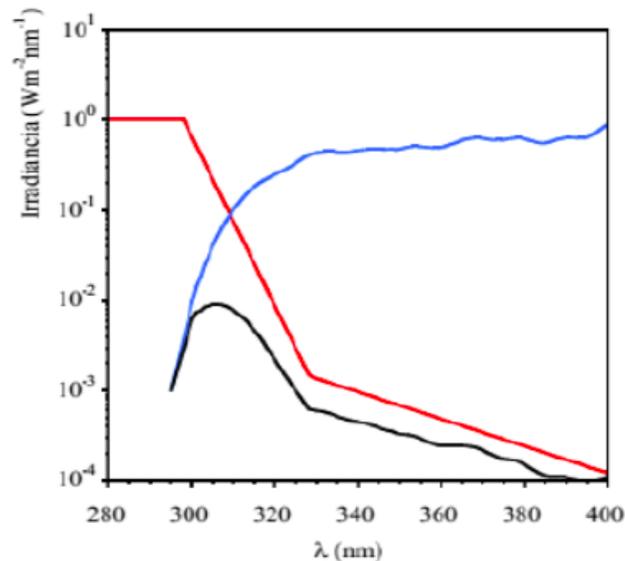


Figura 6. "Curva Estándar de Eritema", McKinlay y Diffey 1987. \*Curva de irradiancia solar a nivel del suelo (azul), espectro de acción eritemático (rojo) y producto de ambos UVER (negro).

El estudio de la influencia eritemática se realiza a partir de la dosis mínima de UVER que produce un enrojecimiento perceptible en la piel humana no expuesta previamente a la radiación solar. Esta dosis se denomina MED (Mínimum Erythermal Dosis) (CIE, 2000).

El uso de la MED como unidad de radiación plantea numerosos inconvenientes al depender de varios factores como son: las características ópticas de la fuente emisora, las características de la piel considerada, la capacidad de bronceado del individuo, las características de la observación y cualquier adaptación antes de que el individuo tenía de las exposiciones anteriores.

Cuadro 1. *Fototipos de piel y características físicas de individuos.*

<b>Fototipo</b>	<b>1 MED</b>	<b>Color de Pelo</b>	<b>Color de Ojos</b>
I 	200 J/m <sup>2</sup>	Rubio o Pelirrojo	Azul o Verde Claro
II 	250 J/m <sup>2</sup>	Rubio	Azul, Verde o Marrón Claro
III 	300 J/m <sup>2</sup>	Castaño	Gris, Verdes, Marrón.
IV 	350 J/m <sup>2</sup>	Castaño o Negro	Marrones
V 	550 J/m <sup>2</sup>	Castaño Oscuro o Negro	Marrones o Negros
VI 	650 J/m <sup>2</sup>	Negro	Marrones Oscuro o Negros.

Fuente: Elaboración propia con datos del ("The consistency of studies of ultraviolet erythema in normal human skin." B. L. Diffey, 1982)

Años atrás, la dosis mínima de eritema (MED) se ha utilizado ampliamente como una "medida" de la radiación eritematosa. Esto no es razonable debido a que la MED no es una medida estándar, pero, por el contrario, abarca la naturaleza variable de la sensibilidad individual a la radiación ultravioleta.

Por estas razones, la CIE aprobó en el año 2000 como unidad de radiación UVER la SED (Standard Erythema Dose), definida como  $1 \text{ SED} = 100 \text{ J/m}^2$  de radiación (CIE, 2000).

#### 4.2 Relación Irradiancia Efectiva de Eritemática y Dosis

La irradiancia de eritematógeno ( $E_{er}$ ) eficaz de una fuente de radiación ultravioleta se obtiene mediante la ponderación de la irradiancia espectral de la longitud de onda por la eficacia de la radiación de esta longitud de onda para causar un eritema mínimo y sumando sobre todas las longitudes de onda presentes en el espectro (CIE, 2000).

Se expresa de la siguiente manera:

$$E_{er} = \int E\lambda * S_{er}(\lambda) d\lambda$$

$$E_{er} = \sum E\lambda * S_{er}(\lambda) \Delta\lambda$$

Donde  $E\lambda$  es la irradiancia espectral en  $\text{W/m}^2 \text{ nm}^{-1}$  en  $\lambda$  la longitud de onda en nm;  $S_{er}(\lambda)$  es una medida de la eficacia de la radiación de longitud de onda  $\lambda$  en nm en relación a la producción de un eritema mínimo.

$$S_{er}(\lambda) = 1,0 \quad \text{para } 250 \leq \lambda \leq 298 \text{ nm}$$

$$S_{er}(\lambda) = 10^{0,094(298-\lambda)} \quad \text{para } 298 \leq \lambda \leq 328 \text{ nm}$$

$$S_{er}(\lambda) = 10^{0,015(140-\lambda)} \quad \text{para } 398 \leq \lambda \leq 400 \text{ nm}$$

Y finalmente  $\Delta\lambda$  es el intervalo de longitud de onda utilizada.

La exposición radiante efectiva de eritema ( $H_{er}$ ) también llamada dosis efectiva / dosis de eritema se relacionan entre  $E_{er}$  después de un periodo de exposición  $t$  (**tiempo de exposición**) y  $\Phi$  (**valor numérico en J/m<sup>2</sup> equivalente a una cantidad de eritema**)

Se representa de la siguiente manera:

$$H_{er} = E_{er} \cdot t / \Phi$$

#### **4.3 The Standard Erythema Dose (SED) y su equivalencia radiométrica**

El termino Standard Erythema Dose, definida como 1 SED = 100 J/m<sup>2</sup> de exposición radiante efectiva de eritema, es una referencia estándar y en respuesta a los efectos biológicos y foto biológicos. No obstante puede variar según la longitud de onda. La elección de un equivalente radiométrico (valor o parámetro) es arbitrario en muchos casos. Lo primordial es evitar la confusión del MED (Mínimum Erythermal Dose) con SED (Standard Erythema Dose).

#### **4.4 The Standard Erythema Dose (SED) y su clasificación según fototipo de piel, sensibilidad y susceptibilidad a la Radiación Ultravioleta (RUV)**

Según ICNIRP las magnitudes de medición especializadas han sido desarrolladas por los dermatólogos para describir la sensibilidad a quemaduras solares.

Por paradigma la MED producirá una exposición a la RUV apenas perceptible de 8-24 horas de la irradiación de la piel de un individuo. Es importante recordar que la MED no es una "medida estándar" de la radiación eritematosa. Por el contrario, abarca la naturaleza variable de la sensibilidad individual a la radiación ultravioleta.

Al contrario la SED cuantifica la capacidad de una fuente para producir eritema de una exposición efectiva de la RUV. La relación que existe entre el Índice UV Index ó UVI Mundial y el riesgo corresponde a 1,0 Índice UV Index ó UVI (0,025 W/m<sup>2</sup>) es al menos 1 SED por hora (0,9 SED hora) (ICNIRP, 2010).

La amplia gama de susceptibilidad a la exposición solar entre fototipo de piel (Tabla 2), corresponde en gran medida con los tipos de melanina producida por los melanocitos: melanina (marrón oscuro-negro) y la feomelanina (amarillo-rojo).

La feomelanina absorbe los fotones RUV y con la exposición excesiva produce especies reactivas del oxígeno, que son fototóxicas. La melanina un radical libre estable, absorbe los fotones RUV y eliminan los radicales libres; es un fotoprotector de la piel (Fitzpatrick & Szabo, 1983).

Cuadro 2. Descripción de los fototipos de piel.

<b>Fototipo de Piel</b>	<b>Sensibilidad al Sol</b>	<b>*Susceptibilidad a la quemadura</b>
I	Muy sensible	Siempre quemadura: < 2 SED
II	Moderadamente sensible	Alta: 2-3 SED
III	Moderadamente insensible	Moderada: 3-5 SED
IV	Insensible	Baja: 5-7 SED
V	Insensible	Muy Baja: 7-10 SED
VI	Insensible	Extremadamente Baja: > 10 SED

\*Los valores de SED para cada fototipo no son exactos, sino referenciales.

Fuente: ("Protecting workers from ultraviolet radiation". (ICNIRP), 2010)

Aunque todos los individuos producen la melanina y la feomelanina en diferentes proporciones de acuerdo a su composición genética, como consecuencia existen grandes diferencias en la sensibilidad solar y la susceptibilidad de quemaduras o eritemas.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo General**

Valorar la exposición ocupacional a radiación ultravioleta en trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago.

### **5.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar la exposición ocupacional a radiación ultravioleta en trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago.
- Cuantificar el nivel de radiación ( $W/m^2$ ) al que se exponen los trabajadores agrícolas en trece fincas la provincia de Cartago durante la época lluviosa y la época seca (verano)
- Determinar la dosis estándar de eritema (SED) en los trabajadores agrícolas en trece fincas en la provincia de Cartago durante la época lluviosa y la época seca (verano).

## 6. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo observacional-exploratorio. Fue parte de una investigación más amplia ejecutada por la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental, “*Modelo de exposición ocupacional a radiaciones ultravioletas (UVA/UVB) en los trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago*” del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

### 6.1 Área de estudio

La investigación se realizó en la provincia de Cartago específicamente Tierra Blanca (9° 55' N, 83° 53' W, con altitud de >2080 sobre el nivel del mar) y Tejar del cantón el Guarco (9° 50' N, 83° 59' W, con altitud de 1440 sobre el nivel del mar) (Figura 7) en la época lluviosa y la época seca/verano. Las dos zonas de estudio poseen características similares, pero difieren en altitud, topografía, variación en temperaturas y los cultivos que se desarrollan en cada zona (Tabla 3).

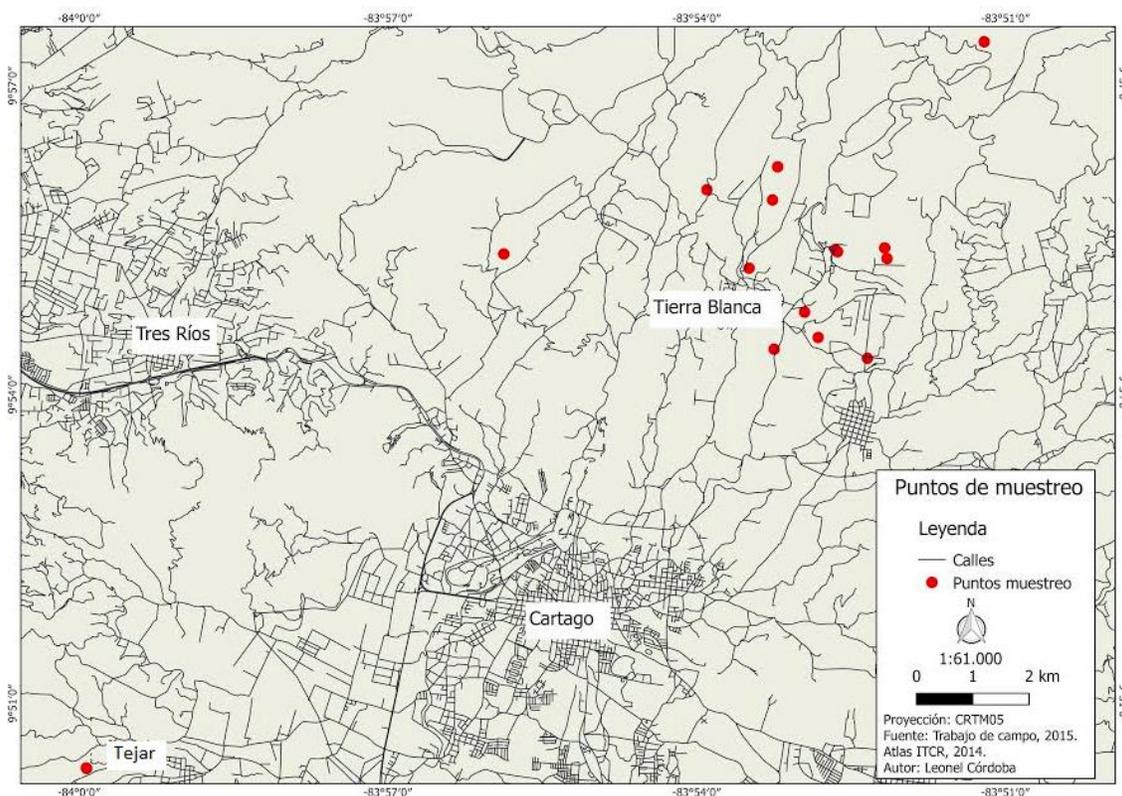


Figura 7. Mapa de zonas geográficas con puntos de muestreo.

Fuente: Elaboración por (Córdoba, 2016b)

Cuadro 3. Comparación de zonas de estudio de la Provincia de Cartago.

Factores	Tierra Blanca	Zona Tejar del cantón El Guarco
<b>Altitud</b>	>2080 msnm	1440 msnm
<b>Latitud</b>	Coordenadas de 9° 55' de latitud norte y 83° 53' de longitud oeste.	Coordenadas de 9° 50' de latitud norte y 83° 59' de longitud oeste.
<b>Nubosidad</b>	Parcialmente nublado	Parcialmente nublado
<b>Topografía</b>	Destaca con su relieve montañoso y abrupto está formado por dos cordilleras: la Central, en donde se encuentran los volcanes Irazú, el más alto del país, y el volcán Turrialba, y la cordillera de Talamanca.	Destaca con su relieve montañoso por la cordillera de Talamanca, en su vertiente del Mar Caribe y una divisoria de aguas natural.
<b>Ozono</b>	Su mayor concentración está entre los 19 y los 23 kilómetros por sobre la superficie terrestre, en la estratosfera baja, siendo un delgado escudo de gas. Según United Nations Environment Programme existe en la actualidad una disminución del 10% y sigue en disminución a raíz del cambio climático. Cada 1% de reducción en el ozono, resulta en un aumento de 1.5% de radiación UV-B que llega a la superficie terrestre.	
<b>Temperaturas Promedio</b>	Temperatura máxima promedio es 20° C y una temperatura mínima de 10° C.	Temperatura máxima promedio es 20° C y una temperatura mínima de 12° C.
<b>Los cultivos</b>	Papa, zanahoria, cebolla, remolacha, plantas ornamentales.	Semillas/Almacigos (remolacha, apio, repollo, brócoli, cebolla, lechuga, tomate, pepino, ayote, zukini)

Fuente: IMN, 2016; MAG, 2013; OMS, 2003; UNEP, 2015; Vargas S, 2012; ZEEC, 2011

## 6.2 Selección y caracterización de fincas

Se trabajó con los diferentes productores agrícolas de Tierra Blanca y de Tejar del cantón el Guarco y con las asociaciones que agrupan varios productores (Asociación de Horticultores del Irazú, de Tierra Blanca- AHSORI) para identificar fincas apropiadas y anuentes en participar (Tabla 4 y Figura 9) La selección de la muestra de fincas fue a conveniencia, por lo tanto la muestra no es representativa de la época lluviosa ni época seca. En gran medida dependía en la disponibilidad del dueño/administrador y la disponibilidad de logística del proyecto en la universidad. Las fincas tenían un promedio de 11 trabajadores. Se muestran algunas fotografías de las fincas (Figura 8 y 10-12).



*Figura 8.* Selección y caracterización de las fincas en las zonas de estudio.

Fuente: [ Fotografía de Marcela Sierra]. (Cartago, 2015). Archivos fotográficos EISHLA.

Cuadro 4. *Fincas participantes en el estudio 2015-2016.*

#	Nº Finca	Altitud	Latitud	Longitud	Área (m <sup>2</sup> )	Cultivo	Fecha
A	Parcelas de Julio Molina (Cot)	1989.42	9° 54' 21"	83° 52' 20"	14000	Papa	4/11/15
B	Retes	2181.45	9° 55' 59"	83° 53' 54"	21000	Papa	5/11/15
C	*Potrero Cerrado	2281.57	9° 55' 24"	83° 52' 39"	7000	Cebolla	10/11/15
D	La Laguna	2305.30	9° 55' 53"	83° 53' 15"	42000	Papa	12/11/15
E	El Portón	2030.99	9° 54' 26"	83° 53' 14"	14000	Papa	17/11/15
F	*Tablón del Guarco	1473.08	9° 50' 22"	83° 59' 55"	6000	Semillas	25/11/15
G	*Potrero Cerrado	2281.57	9° 55' 23"	83° 52' 37"	7000	Papa	1/3/16
H	San Juan de Chicua	3062.98	9° 57' 25"	83° 51' 12"	10000	Papa	2/3/16
I	Potrero Cerrado-Cruce	2118.18	9° 54' 48"	83° 52' 57"	5000	Papa	3/3/16
J	Jaules de Cot	2090.11	9° 55' 19"	83° 52' 09"	50000	Papa	8/3/16
K	Los tanques	2332.41	9° 55' 25"	83° 52' 10"	21000	Zanahoria	15/3/16
L	*Tablón del Guarco	1473.08	9° 50' 22"	83° 59' 55"	6000	Semillas	16/3/16
M	La Cañada	2124.43	9° 54' 33"	83° 52' 49"	35000	Papa	17/3/16
N	El Avance	1938.00	9° 55' 21"	83° 55' 52"	21000	Papa	29/3/16
O	Los Bajos	2219.43	9° 55' 13"	83° 53' 29"	7000	Zanahoria	30/3/16
P	La Laguna-Alto	2369.07	9° 56' 12"	83° 53' 12"	14000	Cebolla	31/3/16

\*Fincas visitadas en dos ocasiones.

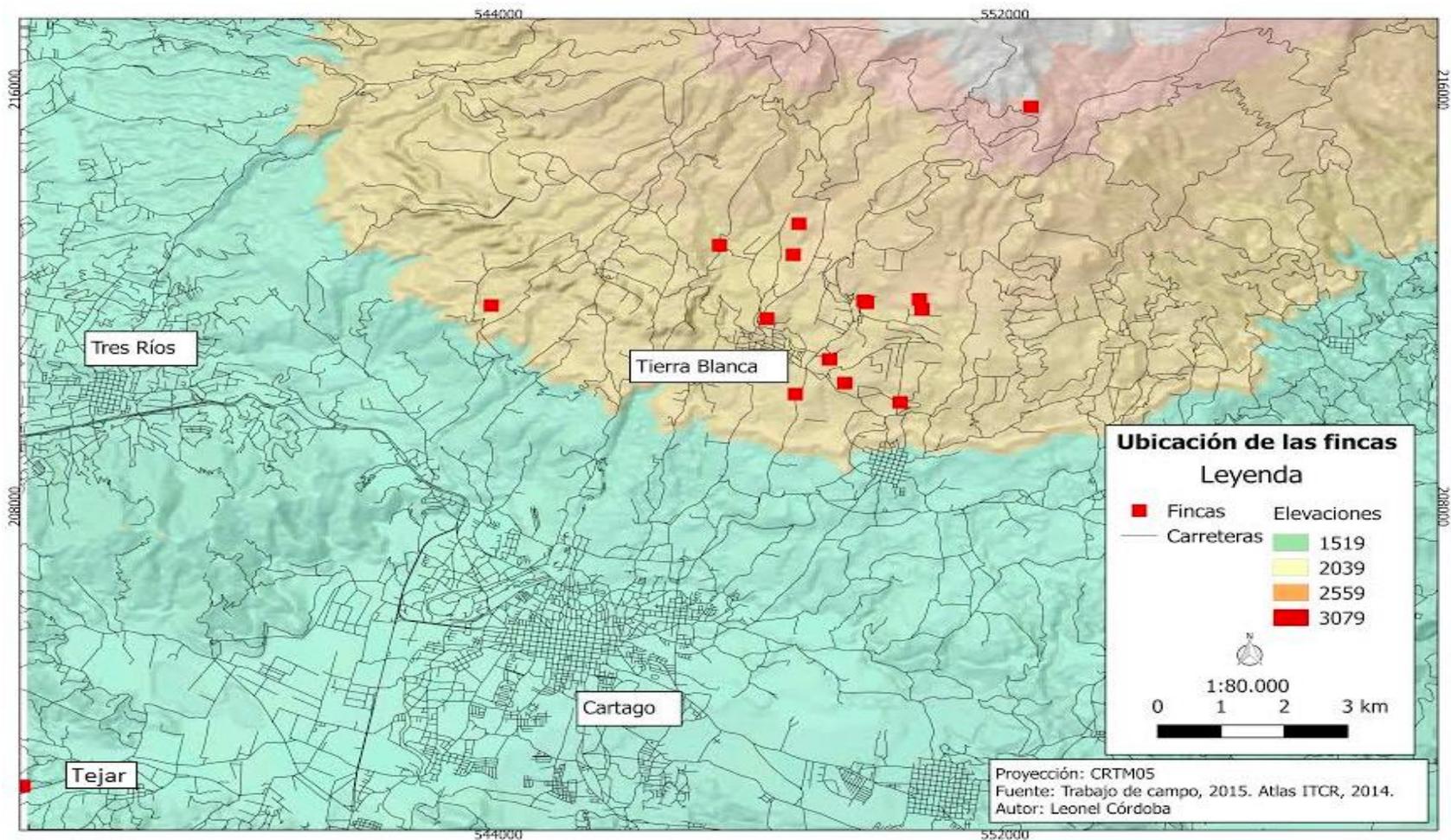


Figura 9. Ubicación de fincas en las zonas de estudio según su elevación.

Fuente: Elaboración por (Córdoba, 2016c)

Durante los meses de julio y agosto del 2015, se visitaron las fincas con el fin de conocer la dinámica de las fincas, observar las rutinas de trabajo, conocer a los participantes, aplicar la encuesta higiénica y colaborar con los otros componentes de investigación del proyecto como la medición de la temperatura globo de bulbo húmedo (TGBH) y la velocidad del viento con un anemómetro.



*Figura 10.* Visitas a las fincas de investigación, aplicación de encuesta higiénica y otros componentes del proyecto en las zonas de estudio.

Fuente: [ Fotografía de Nelson Moya]. (Cartago, 2015). Archivos fotográficos EISHLA.

Se realizó mediciones de radiación durante 16 días en total: en época lluviosa (noviembre 2015; n=6) y época seca (marzo 2016; n=10) con un total de 13 fincas.



*Figura 11.* Mediciones de campo en época lluviosa (noviembre 2015).

Fuente: [ Fotografía de Marcela Sierra]. (Cartago, 2015). Archivos fotográficos EISHLA.



*Figura 12.* Mediciones de campo en época seca (marzo 2016).

Fuente: [ Fotografía de Marcela Sierra]. (Cartago, 2016). Archivos fotográficos EISHLA.

### 6.3 Caracterización de la población participante y actividades

Se caracterizó la población participante en el proyecto de investigación, como cumplimiento del objetivo # 1 y con el fin de conocer la descripción demográfica general de las fincas visitadas (Tabla 5) y sus ciclos de producción de siembra y cosecha en cultivos. Se escogieron trabajadores de cada finca visitada para un total de 34 trabajadores.

Se utilizó una encuesta higiénica y con la observación directa del investigador realizó una descripción cualitativa-cuantitativa de los factores que tengan incidencia en la exposición diaria de RUV en los trabajadores: ropa utilizada, posturas ergonómicas asumidas a lo largo de la jornada laboral según tarea, tiempo de exposición, horas de trabajo por semana, años trabajados en agricultura, fototipo de piel y el uso de equipo de protección personal.

Se utilizó el test de Fitzpatrick skin type (Fitzpatrick, 1975, 1988), para determinar el fototipo de piel y conocer la sensibilidad a la RUV (Tabla 5).

Cuadro 5. Descripción demográfica de trabajadores en las fincas participantes (n=13).

Edad Mediana (min, max)	32.5 (20-62)
Peso, Mediana (min, max)	64.5 (46-90)
Estatura, Mediana (min, max)	1.65 (1.53-1.82)
Sexo	
Hombres	29 ( 85%)
Mujeres	5 (15%)
Años trabajados en agricultura	
0-1 año	3 (8.8%)
2-5 años	2 (5.8%)
6-10 años	6 (17.6%)
11-15 años	4 (11.7%)
más de 15 años	19 (55.8%)
Horas que trabaja por semana	
42 horas	12 (35%)
48 horas	20 (58%)
> 50 horas	2 (6%)
Fototipo de piel (Test de Fitzpatrick)	
I	0 (0%)
II	2 (6%)

III	14 (41%)
IV	16 (47%)
V	1 (3%)
VI	0 (0%)

---

Luego mediante la matriz QFD (Ver Apéndice 1-4) se detalló cada uno de los ciclos de producción de siembra y cosecha en cada cultivo con las diferentes actividades, posturas ergonómicas asumidas por el trabajador a lo largo de la jornada laboral, los sitios anatómicos expuestos a la RUV y el equipo de protección utilizado.

Las figuras 13-16 muestran cada ciclo de producción y los procesos en los distintos cultivos estudiados.

El período de tiempo dedicado a la preparación del suelo es 8 días y la siembra fue de 8-15 días dependiendo de las dimensiones de la finca, el período de fertilización y aplicación de plaguicidas es de 2-3 días por semana, el período de riego es diario, y el período de siembra es 30 días. Durante los períodos no dedicados a actividades relacionadas con el ciclo de producción de papa, cebolla, zanahoria, los trabajadores dedicaron su tiempo a otras actividades agrícolas.



Figura 13. Diagrama ciclo de producción de siembra (papa, zanahoria, cebolla).

El período de tiempo dedicado a la preparación de la tierra es un 1 día, lavado de bandejas plástico 3 horas y la siembra depende del cultivo 4-6 semanas (remolacha, apio, repollo, brócoli, cebolla, lechuga, tomate, pepino, ayote, zucchini), se demora 3 días en germinación de la semilla. El período de tiempo en el invernadero es aproximadamente 1 mes.

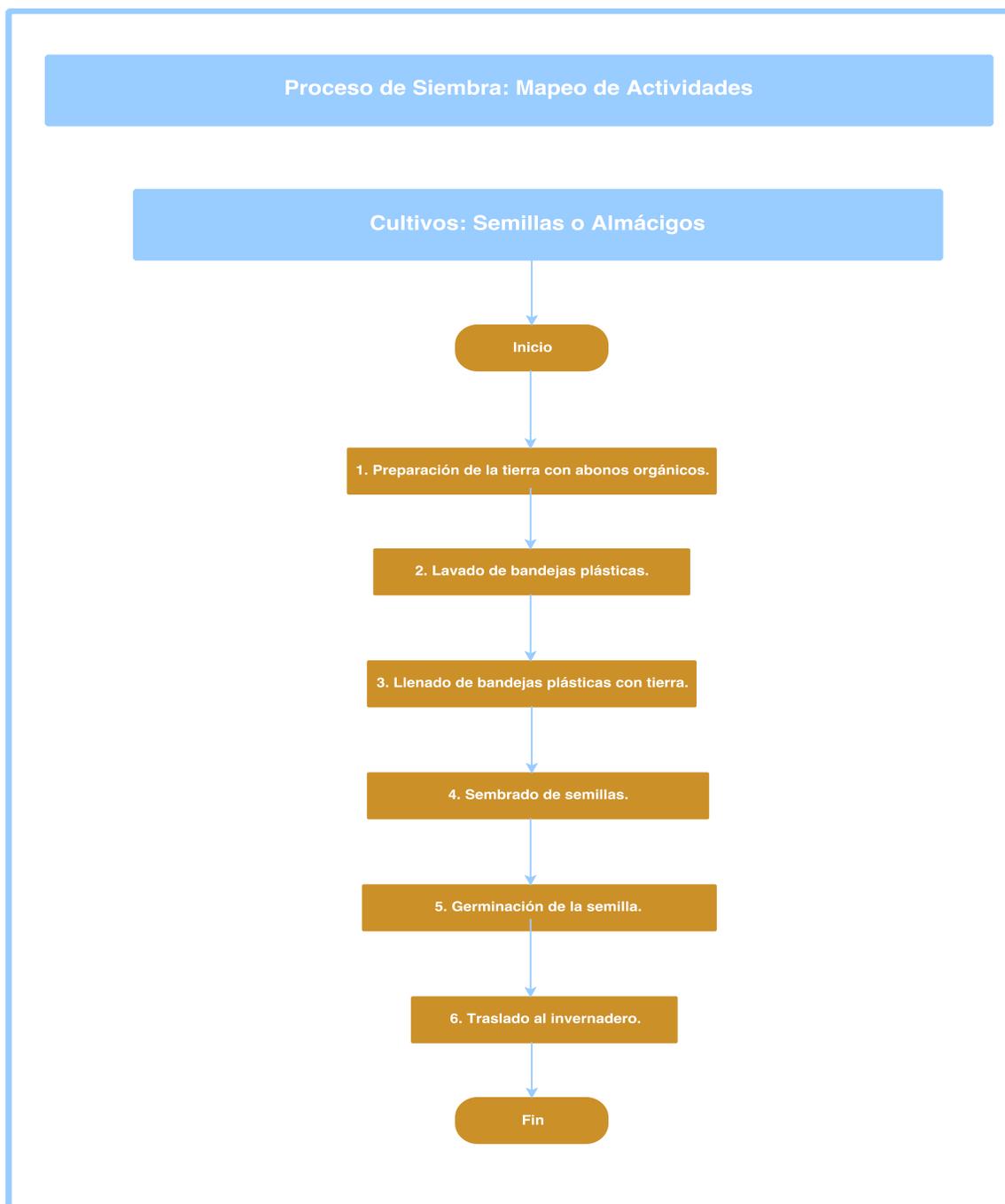


Figura 14. Diagrama ciclo de producción siembra de semillas o almácigos.

El período de tiempo de cosecha fue de 60-90 días, el período de fertilización y aplicación de plaguicidas es de 2-3 días por semana, el período de riego es diario. Durante los períodos no dedicados a actividades relacionadas con el ciclo de producción de papa, cebolla, zanahoria, los trabajadores dedicaron su tiempo a otras actividades agrícolas.

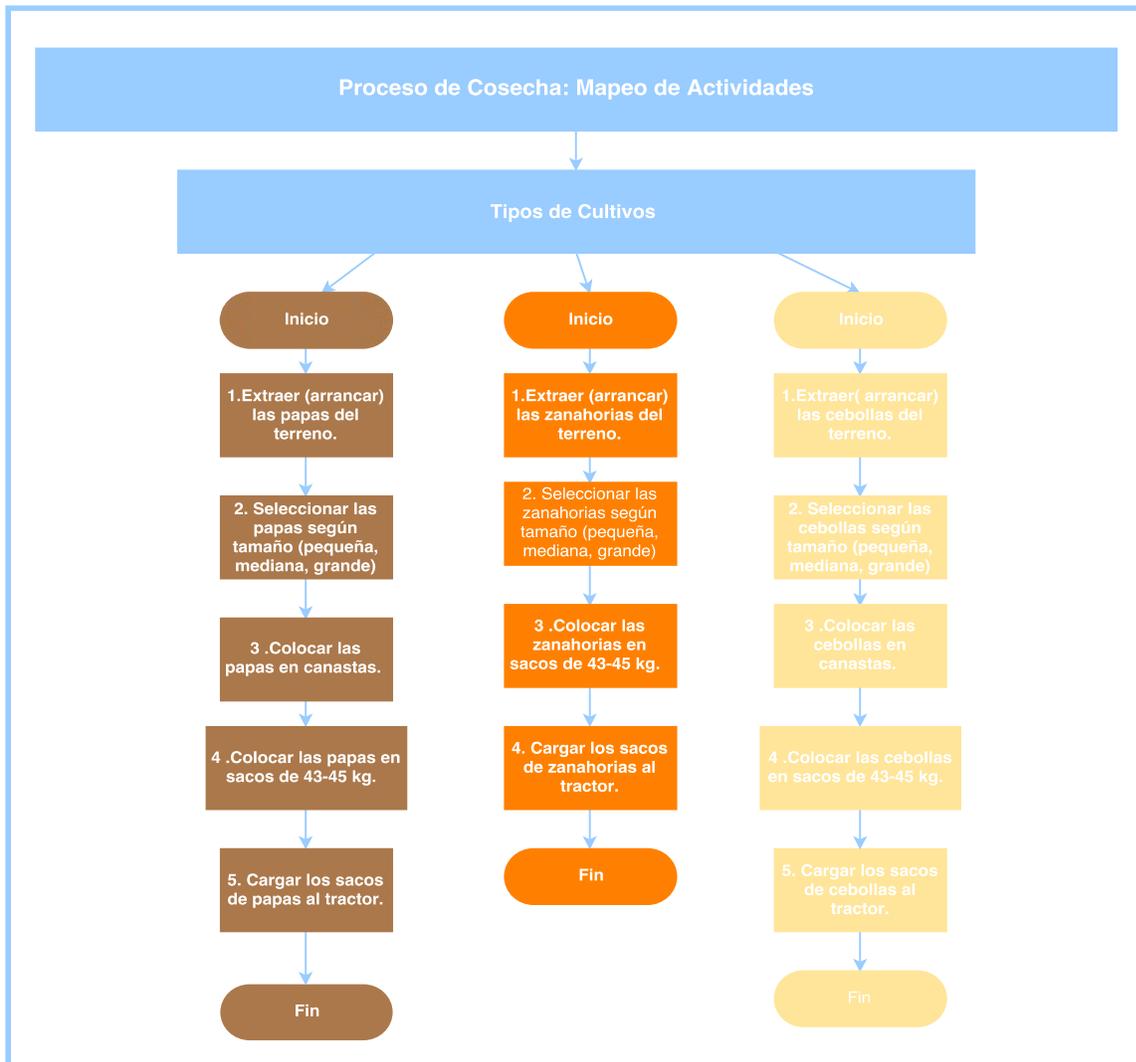


Figura 15. Diagrama ciclo de producción de cosecha (papa, zanahoria, cebolla).

El período de tiempo de re-siembra de semilla en bandejas plásticas 8 horas, el período de aplicación de plaguicidas es 2 veces por semana, el período de riego con agua es 2-4 horas diarias, el período de riego con fertilizantes es 2-3 horas diarias. El tiempo de germinación de la semilla es 8 días. Se traslada a la bodega y se demora 4 días.

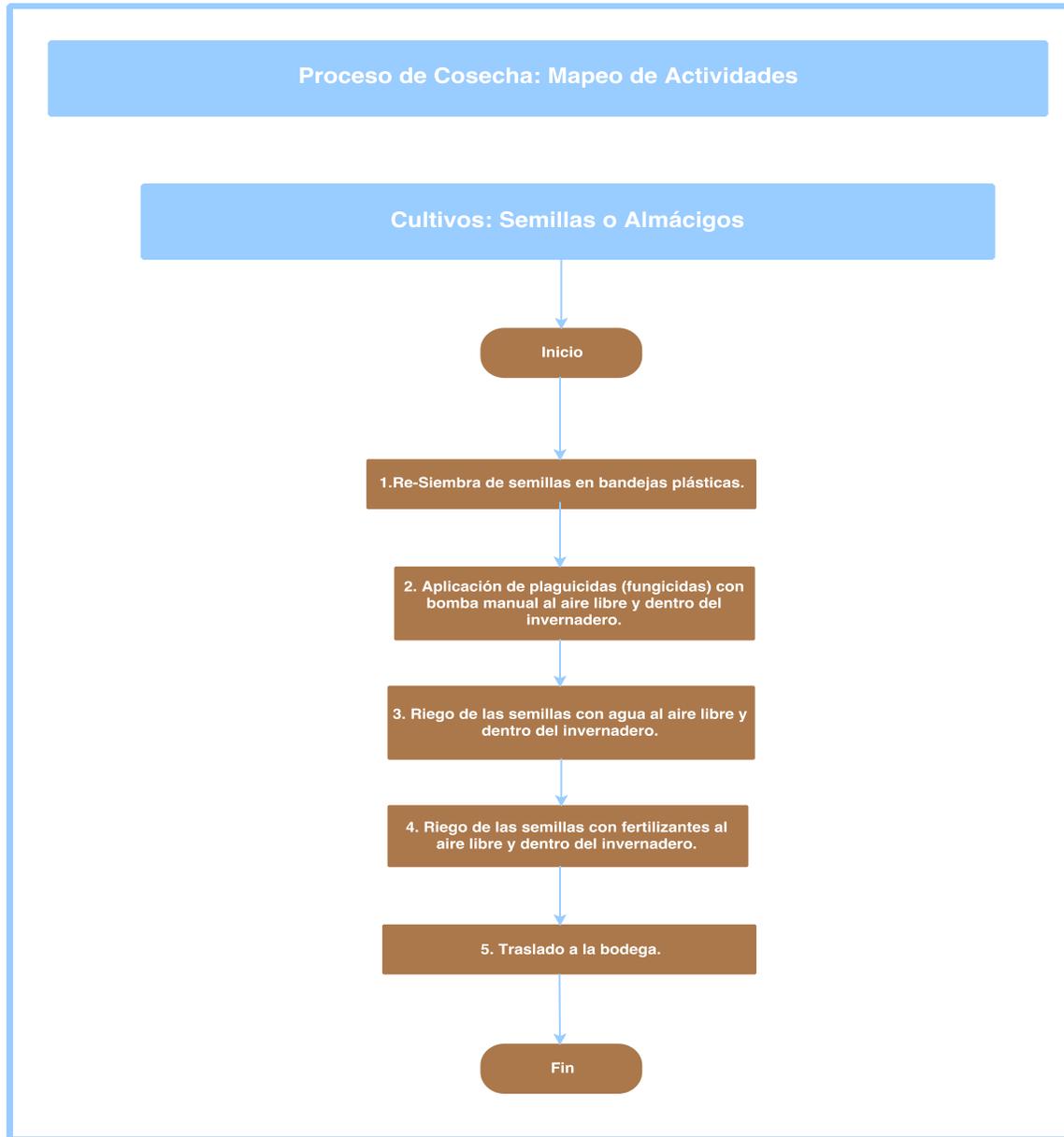


Figura 16. Diagrama ciclo de producción cosecha de semillas o almácigos.

#### 6.4 Encuesta higiénica y observación

Se utilizó como base una encuesta higiénica en cada una de las fincas que participaron en el proyecto (julio 2015 - marzo 2016), esto con el fin de documentar los cultivos, productos, horarios de trabajo, tiempos de exposición, cantidad de trabajadores, patrones de exposición, altitud, latitud, longitud, área del terreno, fototipo de piel de los trabajadores, ropa de trabajo, maquinaria y herramientas de trabajo (Figura 17). Se pidió a los trabajadores seguir con sus hábitos de trabajo normales y se les observó directamente a lo largo de la jornada laboral, generalmente los trabajadores trabajan de 6:00 am hasta 13:30 pm con un desayuno 9:00 -9:30 am. Durante las horas de trabajo, los trabajadores estaban en aire libre y expuesto a la luz solar. Los trabajadores buscaban sombra durante su hora de desayuno, sin embargo, en la mayoría de los casos no se cuenta con un lugar establecido.

Con el fin de corroborar los datos colectados durante la encuesta higiénica; la observación se realizó también con ayuda de una bitácora diaria donde se apuntó detalles observados en el campo y de interés durante las visitas de campo.



*Figura 17.* Aplicación de encuesta higiénica y observación directa en las fincas participantes en el proyecto.

Fuente: [ Fotografía de Marcela Sierra]. (Cartago, 2015-2016). Archivos fotográficos EISHLA.

## **6.5 Medición de irradiancia incidente sobre superficie horizontal**

La irradiancia incidente sobre una superficie horizontal ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) durante un período específico de tiempo se midió usando un radiómetro (Sper Scientific UVA/B Light Meter, Model 850009) de peso ligero (2.47kg), instrumento portátil que mide la luz dañina UV (ultravioleta), en entornos naturales y artificiales.

El rango espectral del radiómetro es de 280 a 400 nm, la resolución espectral es  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  y  $0.01 \text{ mW}/\text{cm}^2$ , el intervalo de punto de datos es en segundos con un rango de  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 9999 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (baja iluminación) y  $0.01 \text{ mW}/\text{cm}^2 \sim 40.00 \text{ mW}/\text{cm}^2$  (alta iluminación).

El incidente ponderado de eritema en sitios anatómicos durante un período específico de tiempo ( $\text{m}^2 \text{ J}$ ), llamada exposición a la RUV, se estimó con la encuesta higiénica y se consideró el espectro de acción de eritema CIE (CIE, 2000).

En cada finca, se colocó el radiómetro sobre un trípode en posición sur confirmándolo con las coordenadas de la finca; respecto a la posición del Sol. Se programó el equipo de medición luego se anotó el primer registro (dato de inicio) y por siguiente registrar los valores de exposición RUV de forma automática con intervalos de 10 minutos entre las 7:00 am y la 13:30 pm; como respaldo, se anotó cada dato (lectura directa) en papel cada media hora y hora puntual. En momentos de lluvia, se colocó el equipo dentro del edificio (troja), colocándolo de nuevo en el momento de cesar la lluvia.

## **6.6 Análisis de datos**

### ***6.6.1 Análisis de la caracterización de la población, actividades, posturas ergonómicas, sitios anatómicos y equipo de protección utilizado***

Para el análisis de la exposición a la RUV en relación las actividades realizadas por los agricultores se consideró todo el cuerpo humano y se cuantificó la postura asumida por el trabajador, los sitios anatómicos expuestos al sol y el equipo de protección personal utilizada durante el ciclo de producción de siembra y el ciclo de producción de cosecha de ambos cultivos en las dos zonas geográficas de estudio. Se analizaron mediante una matriz QFD (Quality Function Deployment) una metodología de ingeniería usada para cálculo matemático de las

necesidades y expectativas prioritarias a mejorar. En relación a la investigación se utilizaron una serie de matrices en cada proceso de producción agrícola siembra y cosecha respectivamente. (Ver apéndices 1-4) Se subcategorizó con las posturas ergonómicas, sitios anatómicos y el equipo de protección utilizado por los agricultores. Se asignó un peso específico a cada una de las subcategorías indicando la incidencia directa con la exposición a la RUV y según las actividades del ciclo de producción para obtener unos valores totales en la matriz.

### **6.6.2 *Análisis irradiancia incidente sobre superficie horizontal***

Se reportó los valores de irradiancia de cada día en incrementos de 10 minutos, eliminando datos correspondientes a momentos que fue necesario guardar el equipo por lluvia.

Se reportó los datos de irradiación en cada finca por día y períodos de medición , épocas y hora del día (Tablas 8-12). Adicionalmente, se comparó los valores medidos con el valor máximo permitido por ICNIRP de  $30\text{J}/\text{m}^2$ . También se comparó los valores medidos con los valores reportados del “Índice UV” según el IMN en los días analizados. La distribución de los datos no fue normal, se realizó prueba una Mann-Whitney U para comparar las medianas de irradiancia medida en época lluviosa y época seca. Así mismo la altitud o elevaciones de las fincas de estudio sobre la irradiancia medida ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), con la prueba de Mann-Whitney U (Test de Wilcoxon). Los análisis y gráficos correspondientes fueron realizados utilizando el paquete estadístico Rstudio.

### **6.6.3 *Estimación de exposición diaria a la RUV en cada finca y época***

Todas las exposiciones RUV en sitios anatómicos específicos se describen en unidades SED, la unidad recomendada por la CIE para la expresión de la exposición RUV personal, donde  $1\text{ SED} = 100\text{ J m}^{-2}$  normalizado a 298 nm de acuerdo con el espectro de acción de eritema CIE (CIE, 1987) y CIE dosis de eritema estándar (CIE, 2000). Se requiere una exposición de aproximadamente 1,5 a 3,0 SED para producir un eritema perceptible en la piel no aclimatada blanco, sin protección.

La estimación de SED se calculó por exposición a la RUV diaria en cada finca según los valores obtenidos de la irradiancia incidente en toda la jornada laboral utilizando la metodología de la CIE (CIE, 2000). Aquí se presenta los cálculos de SED de 11:00 am – 13:00 pm porque el sol se encuentra horizontalmente a la persona y la RUV es mayormente directa, los cálculos para

la jornada completa en cada finca se encuentran referidos en los apéndices (Ver apéndices 5-20). Adicionalmente a los cálculos se utilizó los datos de la encuesta higienica para identificar la ropa de trabajo utilizada por los trabajadores, las posturas del cuerpo y los sitios anatómicos expuestos afectados por el peligro UVER durante todo un ciclo de producción agrícola.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Caracterización de la población, actividades, posturas ergonómicas, sitios anatómicos y equipo de protección utilizado

En la Tabla 6, se resume las actividades de exposición a la RUV realizadas por trabajadores en cada proceso y las posturas ergonómicas predominantes de cada uno. Es notable que la postura ergonómica “de pie” es la predominante en los ciclos de producción de cada cultivo. Las tareas observadas de más preocupación del ciclo de producción de siembra de los cultivos fue “dividir el terreno en caminos” mientras que en el ciclo de producción de cosecha la tarea de más preocupación fue “extraer, seleccionar, colocar papa, zanahoria, cebolla”. En estas actividades los rayos solares inciden perpendicularmente al trabajador. Las actividades asociadas con las semillas o almácigos en sus ciclos de producción de siembra y cosecha, son intermitentes (bajo techo y al aire libre), resultando de menor exposición para los trabajadores.

Cuadro 6. *Actividad o tarea según postura ergonómica en cada ciclo de producción.*

<b>Proceso</b>	<b>Actividad/Tarea</b>	<b>Postura Ergonómica</b>
Ciclo de producción siembra papa, zanahoria, cebolla	1. Dividir el terreno en caminos y surcos.	De pie Inclinado
Ciclo de producción cosecha papa, zanahoria, cebolla	1. Extraer (arrancar) el cultivo del terreno. 2. Seleccionar el cultivo según tamaño. 3. Colocar el cultivo en canastas	Inclinado
Ciclo de producción siembra de semillas	1. Lavado de bandejas plásticas. 2. Llenado de bandejas plásticas con tierra. 3. Traslado al invernadero	De pie
Ciclo de producción proceso de semillas	1. Aplicación de plaguicidas (fungicidas) con bomba manual al aire libre y dentro del invernadero.	De pie

En relación a los sitios anatómicos con los datos recolectados por medio de la encuesta higiénica, la asignación y el valor obtenido de la matriz QFD y observación directa del investigador se determinó que el 100% (n=34) de los trabajadores observados tuvieron exposición de cara y pecho (en la parte abierta de una camisa de botones) mientras que la exposición en las manos fueron la mitad (n=50) de los trabajadores. Se muestra a continuación en la Tabla 7 y la Figura 18:

Cuadro 7. Los sitios anatómicos expuestos de los trabajadores observados (n=34).

Cara	Manos	Pecho
100%	50%	100%

\*Cara (n=34); \*Manos (n=17); \*Pecho (n=34)

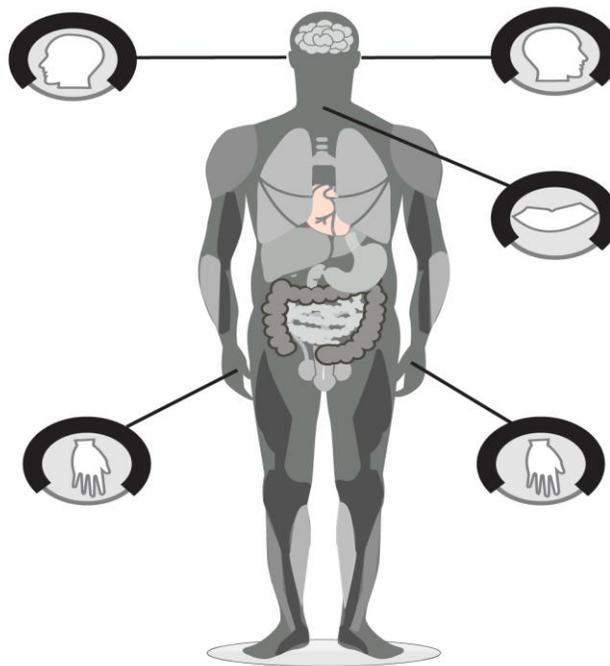


Figura 18. Los sitios anatómicos expuestos de los trabajadores observados (n=34).

En relación al test de Fitzpatrick skin type en los trabajadores agrícolas (n=34) se encontró predominante el fototipo IV (47%) y el fototipo III (41%) (Figura 19). Estos fototipos IV y III tienen sensibilidad normal y tolerancia a la luz solar en la piel.

Se observó el fototipo II en dos trabajadores (6%) y el fototipo V en un trabajador (3%). No se encontró fototipo I ni fototipo VI.

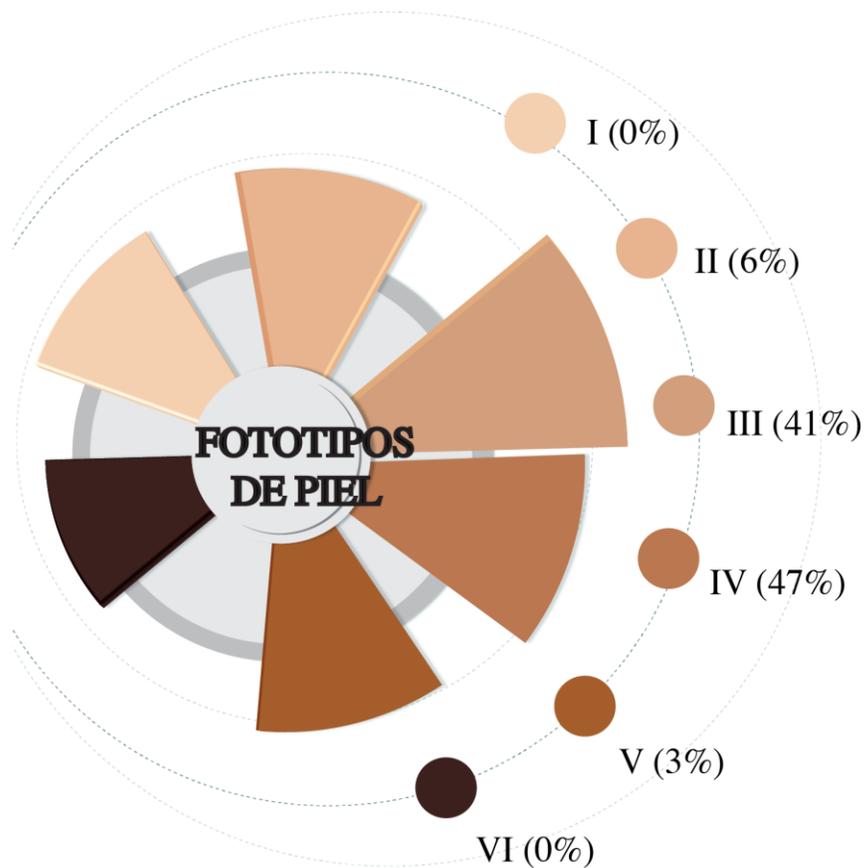


Figura 19. Fototipos de piel de la población estudiada (n=34).

## 7.2 Irradiancia incidente sobre superficie horizontal

La Tabla 8 muestra el número de finca visitada, la altitud de cada uno, su cultivo principal, número de trabajadores y un resumen de la irradiancia medida ( $W/m^2$ ) en cada visita. La figura 20 muestra la totalidad de mediciones en cada visita donde se puede notar patrones en algunos casos de un rango considerable de irradiancia medida ( $W/m^2$ ) en un solo día en algunos casos.

Cuadro 8. *Irradiancia medida ( $w/m^2$ ) cada finca de estudio.*

Nº Finca	Altitud	Min $W/m^2$	Max $W/m^2$	Prom $W/m^2$	Des Est	Cultivo	Nº de trabajadores
A	1989,42	16,5	139,4	54,9	23,9	Papa	20
B	2181,45	23,9	151,9	96,2	32,2	Papa	15
C*	2281,57	30,1	153,7	85,5	32,1	Cebolla	5
D	2305,30	18,4	139,9	70,4	29,9	Papa	7
E	2030,99	4,8	137,4	56,1	33,1	Papa	18
F*	1473,08	1,9	101,1	48,2	27,6	Semillas	10
G*	2281,57	33,2	167,0	110,6	38,6	Papa	6
H	3062,98	29,3	160,9	111,6	38,1	Papa	6
I	2118,18	37,1	142,6	111,5	35,4	Papa	12
J	2090,11	27,6	147,4	93,3	40,6	Papa	26
K	2332,41	24,3	134,7	95,0	33,9	Zanahoria	15
L*	1473,08	24,3	119,4	86,7	26,8	Semillas	9
M	2124,43	24,2	129,0	87,9	32,6	Papa	12
N	1938,00	22,1	136,4	53,1	29,6	Papa	8
O	2219,43	25,0	137,9	81,2	35,7	Zanahoria	7
P	2369,07	20,7	107,1	78,7	28,9	Cebolla	6

\*Fincas visitadas en dos ocasiones.

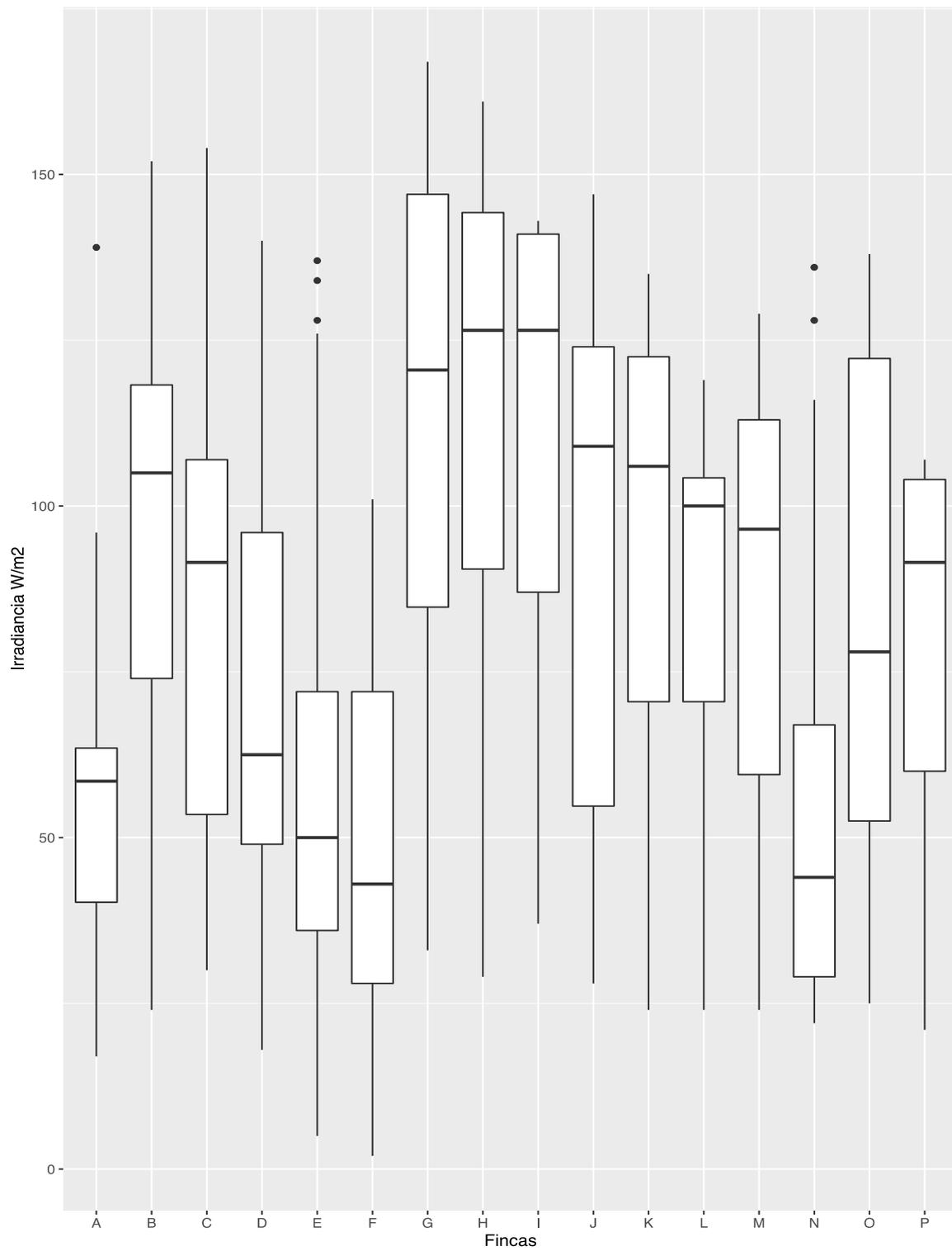


Figura 20. Irradiancia W/m2 medida por día según finca de estudio.

Para conocer si la distribución de los datos es normal, se realizó la prueba estadística Shapiro – Wilk (Test de shapiro – wilk  $W= 0.95087$   $p\text{-value}= 5.51e-15$ ), confirmando que la distribución de datos no es normal.

Se realizó la prueba de Levene, donde la hipótesis nula planteada es igualdad de varianzas en las poblaciones, se obtuvo un valor  $p$  de 0.0389 por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y concluye que las varianzas son distintas.

El promedio de la irradiancia en época lluviosa fue  $73,2 \text{ W/m}^2$  y  $91,1 \text{ W/m}^2$  en época seca (Tabla 9). Tanto la época lluviosa como la época seca experimentaron irradiancias por encima de  $100 \text{ W/m}^2$ , sin embargo estos fueron más común en la época seca (Figura 21). Los patrones eran similares entre las fincas según las épocas de medición con excepción de la finca N en época seca, la cual presentó un promedio de irradiancia por debajo de las demás (Tabla 8). También es notable que durante la época lluviosa hubo una finca (específicamente Finca B) con una mediana por encima de los  $100 \text{ W/m}^2$ , más cerca de las medianas observadas en la época seca (Tabla 8 y Figura 21).

La mediana de irradiancia medida época lluviosa fue  $69,2 \text{ W/m}^2$  mientras que en la época seca fue  $98,5 \text{ W/m}^2$  (Figura 21), una diferencia estadísticamente significativa (prueba Mann-Whitney U-Wilcoxon  $W= 48944$ ,  $p\text{-value} = 1.965e-10$ )

El mínimo registrado por el radiómetro en época lluviosa fue  $1,9 \text{ W/m}^2$  registrado el 25 de noviembre del 2015, mientras que el mínimo en época seca fue  $20,7 \text{ W/m}^2$  registrado 31 de marzo del 2016. El valor máximo de irradiancia registrado en la época lluviosa fue  $153,7 \text{ W/m}^2$  el día 10 de noviembre del 2015 y  $167,0 \text{ W/m}^2$  en la época seca el día 1 de marzo del 2016 (Tabla 9). En el anexo 1 se muestran cada una de las fincas con su respectiva época.

Cuadro 9. Irradiancia medida según época lluviosa ( $n=6$ ) y época seca ( $n=10$ ).

Época	Irradiancia ( $\text{W/m}^2$ )			
	mediana	promedio	des est.	min-max
Lluviosa	69,2	73,2	34,7	1,9-153,7
Seca	98,5	91,1	38,04	20,7-167

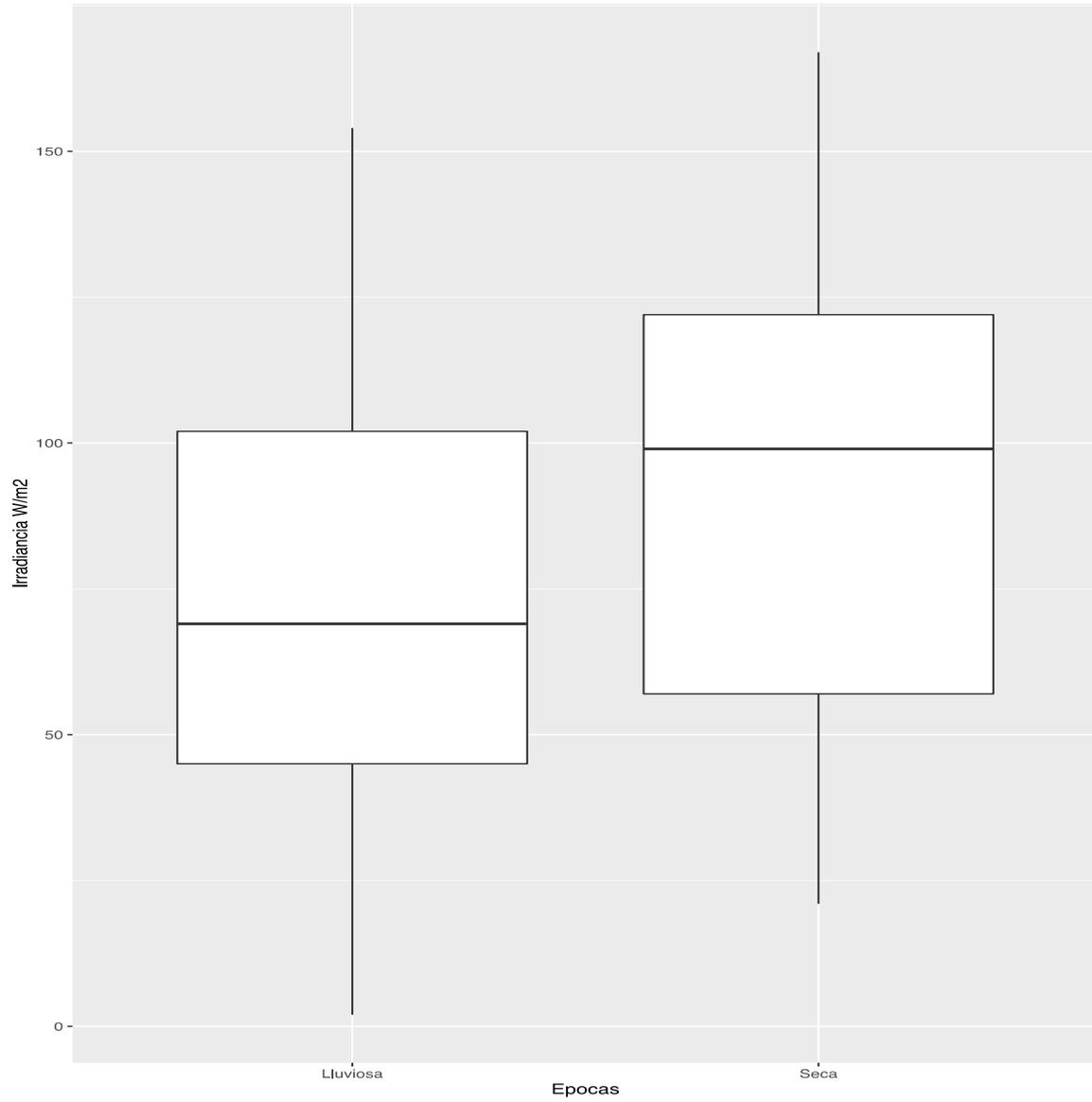


Figura 21. Irradiancia medida según época del año (lluviosa y seca).

En relación a la altitud o elevaciones de las fincas de estudio sobre la irradiancia medida ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), se mostró una diferencia estadísticamente significativa entre las fincas “mayor de 2200 m.s.n.m.” y “menor de 2200 m.s.n.m.” (prueba Mann-Whitney U-Wilcoxon  $W=76268$  , valor  $p = 0.00186$ ).

La Figura 22 mostró que algunos valores importantes se encontraron en altitudes  $> 2200$  m.s.n.m y el valor máximo en la finca G con un valor de  $167,0 \text{ W}/\text{m}^2$  a una altitud de  $2181,45$  m.s.n.m.; aunque se esperaría que el valor máximo se registrará en la finca H, se obtuvo un valor de  $160,9 \text{ W}/\text{m}^2$  a una altitud de  $3062,98$  m.s.n.m. este último resultado se debe probablemente a las condiciones climáticas y la nubosidad registradas el día de la medición.

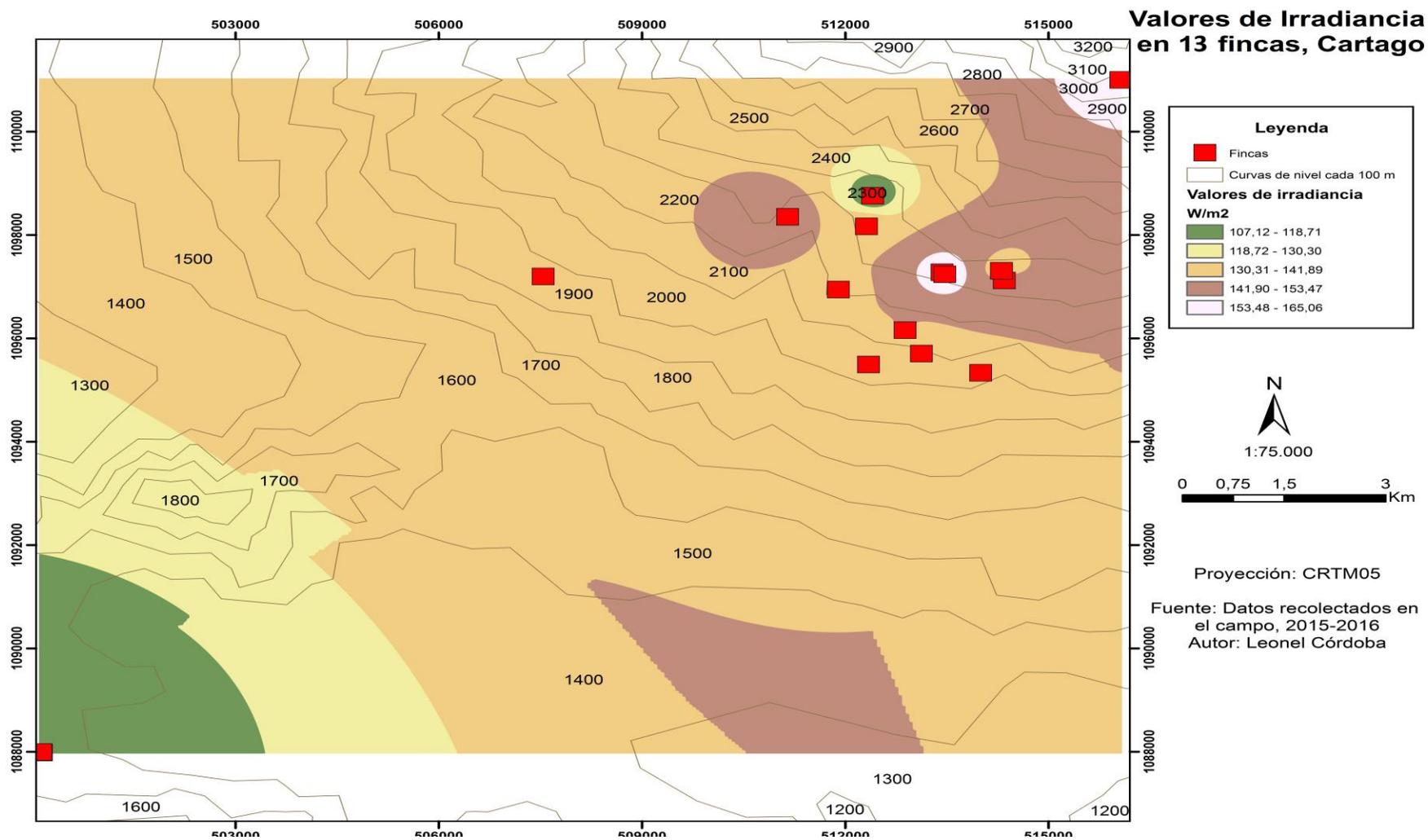


Figura 22. Altitud y los valores de irradiancia (W/m<sup>2</sup>) medidos en las fincas de investigación.

Fuente: Elaboración por (Córdoba, 2016a)

Se comparó las publicaciones del Índice UV reportado por el IMN en su página de internet con los valores obtenidos por el radiómetro de cada día de las mediciones en cada finca visitada con el fin de distinguir el nivel de riesgo al que se exponen los trabajadores agrícolas y si existe una similitud entre ambos. La Tabla 10 muestra las mediciones máximas de irradiancia ( $W/m^2$ ) de cada día de muestreo de menor a mayor junto con el índice UV reportado. La tabla muestra que no hay correlación entre los dos indicadores. La figura 23 muestra la misma información indicando a la vez el nivel de riesgo asociado a cada número del índice IMN. Es particularmente notable que el día de mayor irradiancia medido ( $167,0 W/m^2$ ) el índice UV publicado fue 8, correspondiente a un riesgo “moderado” (Figura 23).

Cuadro 10. *Comparación de Irradiancia máxima - Índice IMN.*

<b>Nº Finca</b>	<b>Max <math>W/m^2</math></b>	<b>Índice UV reportado por IMN</b>
<b>F</b>	101,1	10
<b>P</b>	107,1	11
<b>L</b>	119,4	12
<b>M</b>	129	10
<b>K</b>	134,7	12
<b>N</b>	136,4	10
<b>E</b>	137,4	8
<b>O</b>	137,9	11
<b>A</b>	139,4	9
<b>D</b>	139,9	9
<b>I</b>	142,6	11
<b>J</b>	147,4	12
<b>B</b>	151,9	9
<b>C</b>	153,7	9

<b>H</b>	160,9	10
<b>G</b>	167,0	8

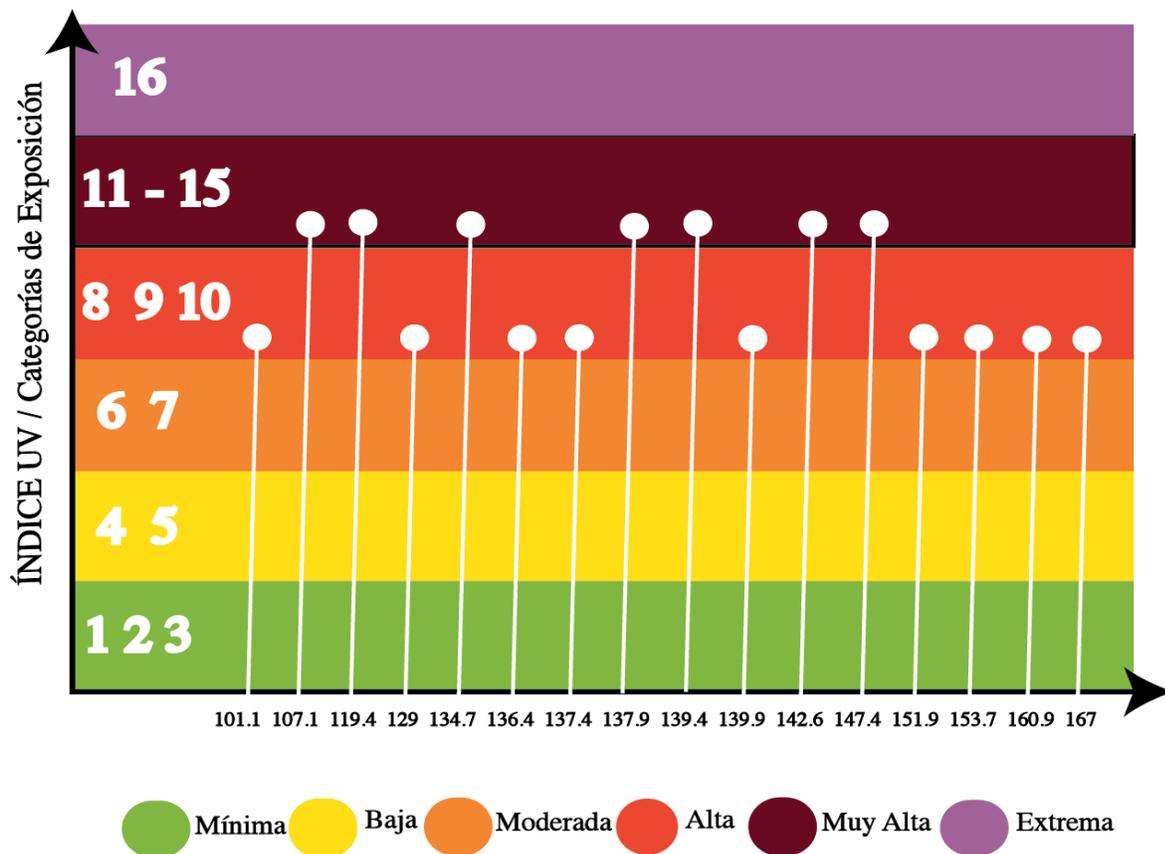


Figura 23. Irradiancia máxima de cada finca vs. Índice UV reportado por el IMN según categorías de exposición.

En relación con la irradiancia medida ( $W/m^2$ ) en cada finca y con las horas medidas durante su jornada laboral (Tabla 11), observamos que la irradiancia es notablemente ascendente a partir de 9:30 am con valor de  $127,0 W/m^2$ .

La Figura 24 muestra como los valores más altos de la irradiancia promedio se sitúan después del mediodía local (12:00 pm), alcanzando  $139,9 W/m^2$ , la curva de evolución es coincidente en cada finca en relación a la altura solar en esa hora. Esto es evidente ya que el ángulo cenital solar es uno de los valores que determina la irradiancia.

En la Figura 25 se muestra un resumen en cada finca y el comportamiento de la irradiancia medida. También en la Figura 26 se muestra un resumen de las épocas (mínimo, promedio, máximo) y el comportamiento de la irradiancia medida. Se nota que a medida que existe un progreso en las horas de la jornada laboral se superaron en algunos casos en la primera medición del día el límite permitido por ICNIRP de  $30 J/m^2$ .

Cuadro 11. *Irradiancia promedio según hora de medición (n=16 días totales).*

<b>Irradiancia Medida</b>	
<b>Hora</b>	<b>Promedio <math>W/m^2</math></b>
6:50am	40,5
7:00am	45,0
7:30am	55,4
8:00 am	71,4
8:30 am	91,5
9:00 am	114,1
9:30 am	127,0
10:00 am	138,7
10:30 am	126,9
11:00 am	129,5
11:30 am	126,8
12:00 pm	139,9
12:30 pm	129,0
13:00 pm	140,0
13:30 pm	147,4

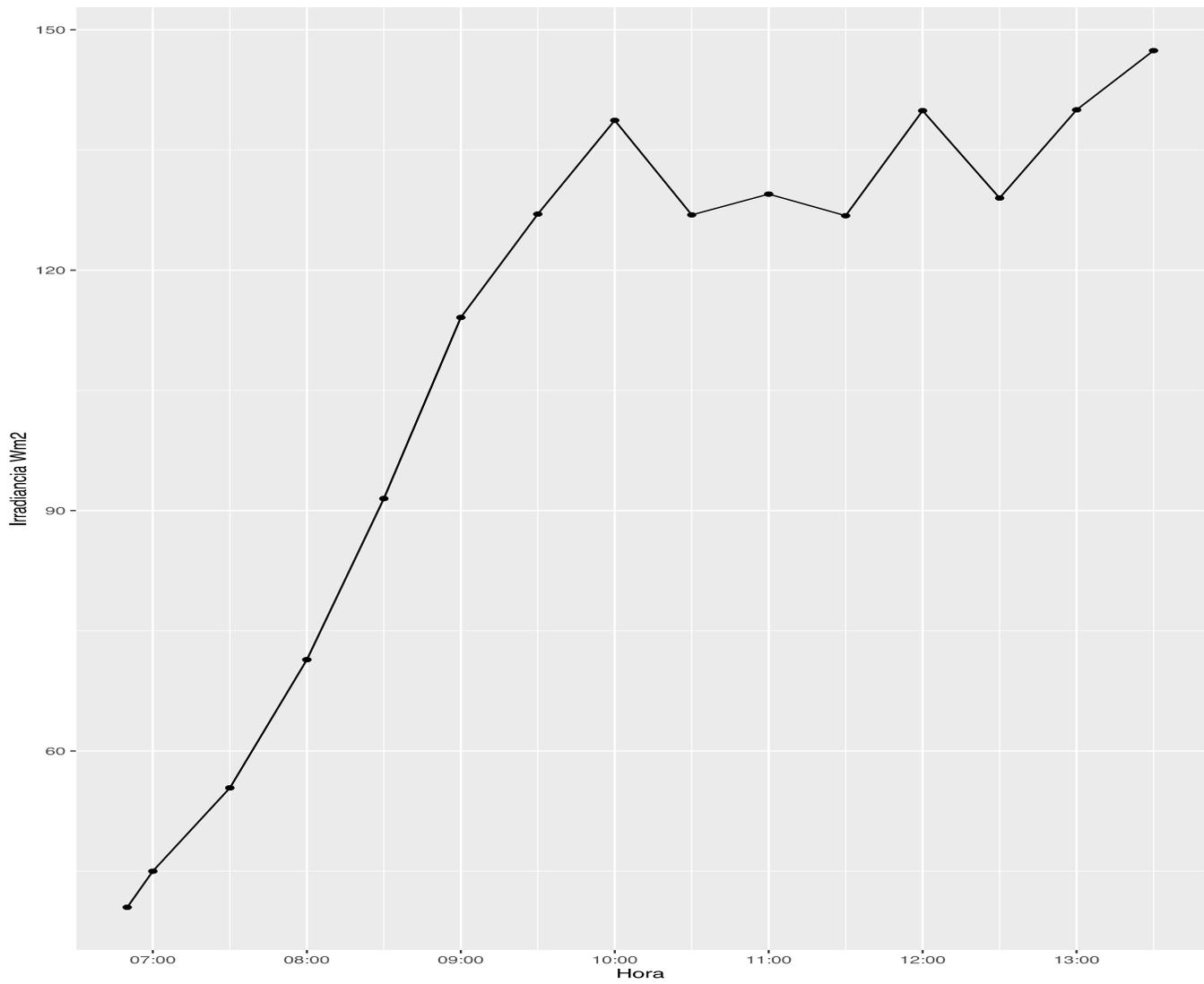


Figura 24. Irradiancia promedio según hora de medición durante 16 días en la jornada laboral.

La Figura 25 muestra un resumen de cada finca con la irradiancia y el comportamiento según las horas medidas 7:00 am – 13:30 pm observando un patrón ascendente en la mayoría de los casos, sin importar las condiciones climatológicas, ni época de estudio.

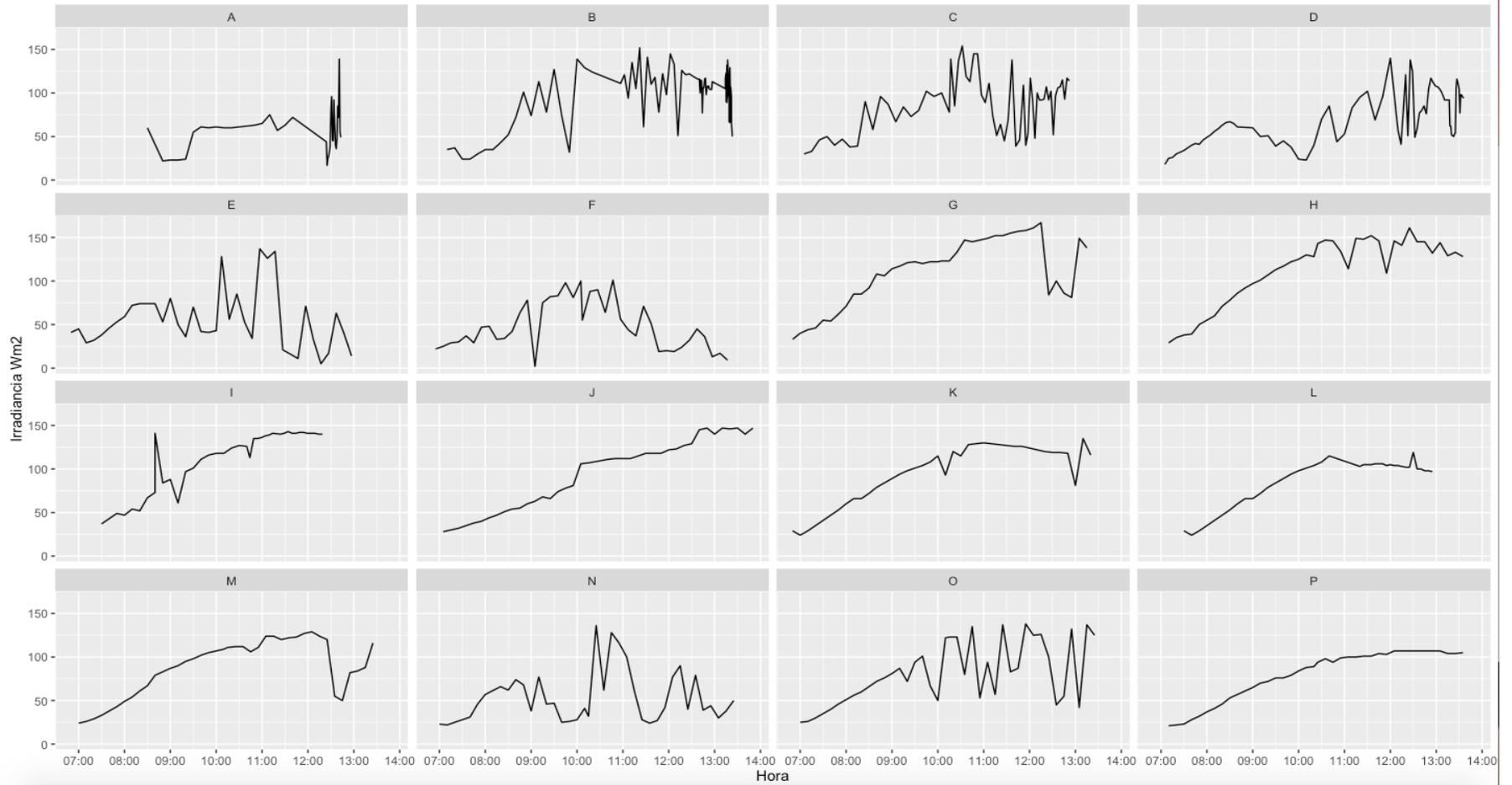


Figura 25. Resumen de cada finca con la irradiancia y el comportamiento según las horas medidas 7:00 am – 13:30 pm.

Las mediciones en cada época con la irradiancia medida (mínimo, promedio, máximo) y el comportamiento según las horas medidas 7:00 am – 13:30 pm; se incrementaron durante la jornada laboral, superando los valores de 30 J/m<sup>2</sup> en algunos casos en la primera medición del día.

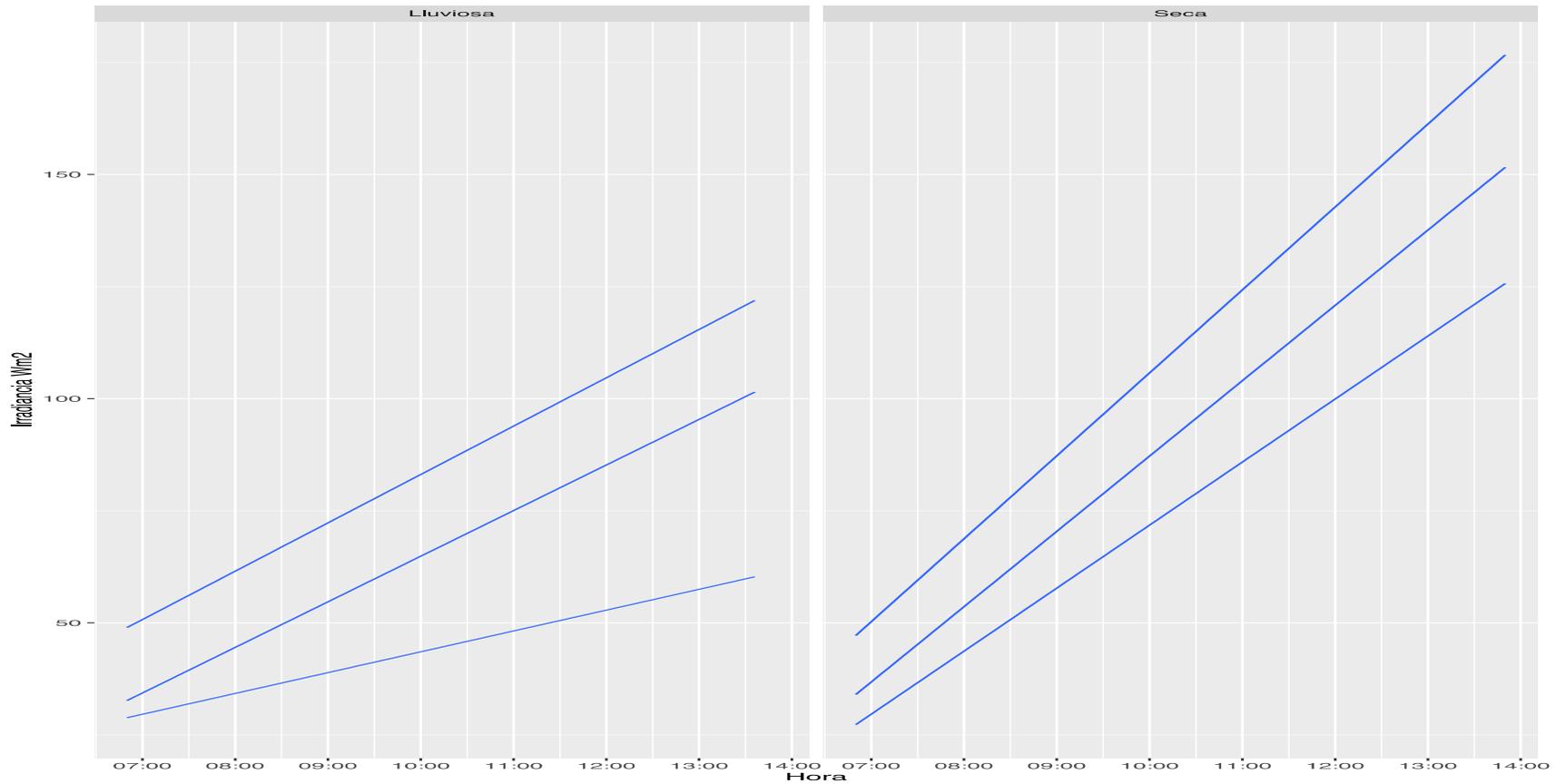


Figura 26. Medición en cada época de estudio y el comportamiento según las horas medidas.

Se compararon los valores diarios medidos de la irradiancia en época lluviosa y época seca en relación a horas (Tabla 12). El valor máximo se registró en 147,4 W/m<sup>2</sup> a las 13:30 pm en época seca y 139,9 W/m<sup>2</sup> a las 12:00 pm en época lluviosa (Figura 27). El valor mínimo se registró en 22,5 W/m<sup>2</sup> a las 7:00 am en época lluviosa (Figura 28).

Cuadro 12. Irradiancia (Mínimos/Máximos) Época vs. Hora.

Hora	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )			
	Seca		Lluviosa	
	Min.(W/m <sup>2</sup> )	Max.(W/m <sup>2</sup> )	Min. (W/m <sup>2</sup> )	Max.(W/m <sup>2</sup> )
*6:50	28,9	33,2	40,5	40,5
*7:00	22,5	39,6	45,0	45,0
7:30	23,3	55,4	23,9	38,0
8:00	34,6	71,4	34,9	58,9
8:30	52,8	91,5	52,1	74,0
9:00	38,2	114,1	23,4	79,7
9:30	46,5	122,0	38,7	127,0
10:00	27,8	124,6	24,3	138,7
10:30	107,8	126,9	60,6	69,5
11:00	112,4	129,5	52,5	64,5
11:30	105,2	126,8	63,2	101,9
*12:00	105,0	124,0	139,9	139,9
*12:30	119,4	129,0	77,9	77,9
*13:00	80,7	140,0	106,5	106,5
*13:30	147,4	147,4	105,3	105,3

\*Solo una medición tomada a esa hora.



Figura 27. Irradiancia máxima en época lluviosa (línea azul) y época seca (línea roja) vs. hora.



Figura 28. Irradiancia mínima en época lluviosa (línea azul) y época seca (línea roja) vs. hora.

### 7.3 Estimación de la dosis estándar de eritema (SED) en los trabajadores

La estimación de la Dosis Estándar de Eritema (SED) en cada finca se cálculo según la irradiancia medida y los valores máximos obtenidos, considerando los parámetros horarios de 11:00 am – 13:00 pm; de igual manera se realizaron los cálculos de SED para toda la jornada laboral (Ver apéndices 5-20). El plano horizontal fue utilizado como valor de referencia por la posición del sol y la postura del cuerpo sobre la exposición RUV. Los resultados se muestran a continuación (Tabla 13):

Cuadro 13. *Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) según irradiancia y altitud medida.*

Nº Finca	W/m2	Altitud	SED 11:00am-13:00pm
A	139,4	1989,42	4,09 SED
B	151,9	2181,45	7,37 SED
C	153,7	2281,57	6,01 SED
D	139,9	2305,30	6,05 SED
E	137,4	2030,99	3,92 SED
F	101,1	1473,08	2,30 SED
G	167,0	2281,57	9,44 SED
H	160,9	3062,98	9,79 SED
I	142,6	2118,18	9,85 SED
J	147,4	2090,11	9,15 SED
K	134,7	2332,41	8,49 SED
L	119,4	1473,08	7,25 SED
M	129	2124,43	7,41 SED
N	136,4	1938,00	3,58 SED
O	137,9	2219,43	6,92 SED
P	107,1	2369,07	7,31 SED

Se realizó una estimación de la Dosis Estándar de Eritema (SED) en la época lluviosa y época seca considerando los parámetros horarios de 11:00 am – 13:00 pm en ambas para conocer si las tendencias e intervalos de los niveles de la exposición RUV tienen relación a los eritemas solares en los trabajadores y adicionalmente para conocer los niveles de riesgo y las dosis de eritemas que la persona recibe (o que potencialmente podría recibir si lo vemos en forma preventiva). Se obtuvieron un valor de SED de 4,95 para la época lluviosa y 7,91 en época seca (Tabla 14).

Cuadro 14. *Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) según irradiancia y época.*

<b>Época</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>SED 11:00am-13:00pm</b>
<b>Lluviosa</b>	153,7	4,95
<b>Seca</b>	167,0	7,91

Los trabajadores agrícolas de la finca B obtuvieron 7,37 SED con valor de irradiancia de 151,9 W/m<sup>2</sup> ubicada a una altitud de 2181,45 m.s.n.m; Los trabajadores agrícolas de la finca D obtuvieron 6,05 SED con valor de irradiancia de 139,9 W/m<sup>2</sup> ubicada a una altitud de 2305,30 m.s.n.m ambas fincas en la época lluviosa.

Los trabajadores agrícolas de las fincas A, C, E y F obtuvieron valores <6,01 SED respectivamente en época lluviosa.

Para la época seca los trabajadores agrícolas de la finca I obtuvieron 9,85 SED con valor de irradiancia de 142,6 W/m<sup>2</sup> ubicada a una altitud de 2118,18 m.s.n.m; Los trabajadores agrícolas de la finca N obtuvieron 3,58 SED con valor de irradiancia de 136,4 W/m<sup>2</sup> ubicada a una altitud de 1938 m.s.n.m.

Los trabajadores agrícolas de la finca G, H, J, K, L, M, O, P obtuvieron valores < 9,0 SED respectivamente en época seca.

## 8. DISCUSIÓN

Aunque es ampliamente conocido que la exposición a la RUV en los trabajadores al aire libre representa un riesgo laboral (Gobba, 2012; Nardini et al., 2014), este estudio representa el primer intento en Costa Rica para valorar la exposición ocupacional a la RUV en un grupo de trabajadores. Las mediciones de este estudio evidenciaron que las exposiciones a RUV de los trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago superan o sobrepasan el umbral recomendado por la Comisión Internacional de Protección frente a Radiación no Ionizante. Recapitulando que la agricultura representa el 15% del Producto Interno Bruto y 20% de la fuerza laboral (MAG, 2013) en la economía nacional, y su población trabajadora en Costa Rica en agricultura representa 12.7% de la población económicamente activa de todo el país (SEPSA, 2013), se resalta la importancia de contar con datos sobre la exposición ocupacional a la RUV en esta población, particularmente en la provincia de Cartago donde 47% de la Población Económicamente Activa está relacionado directamente con la agricultura (INEC, 2011; ZEEC, 2012).

Es importante resaltar que esta tesis fue parte de una investigación más amplia y que se realizó con base en la capacidad del equipo de medición y ciclos de trabajo durante el período de estudio. Se escogió la estrategia de muestreo tomando en cuenta los limitantes de la investigación específicamente el transporte y la logística (personal de la universidad disponible y el calendario institucional) disponible. Sin embargo se pretendió optimizar los recursos disponibles dentro de un tiempo limitado para generar datos de exposición que pueden dar insumos para intervenciones e investigaciones para proteger a trabajadores expuestos al sol.

Este estudio tiene varias limitaciones que son necesario tomar en cuenta: Primero, aunque la mayoría de investigaciones científicas en poblaciones similares (Miligi et al., 2013; Nardini et al., 2014; Schmalwieser et al., 2010; Serrano et al., 2014; Siani, 2011; Siani et al., 2014) sobre exposición individual en trabajadores utilizan dosímetros personales para cuantificar exposición con exactitud en los diferentes sitios anatómicos; en esta investigación se utilizó un dosímetro ambiental (radiómetro). Segundo, el período limitado para la colección de datos, resultó en un número limitado de días de la época lluviosa y seca: un número pequeño de fincas y trabajadores observados; y una cantidad limitada de procesos, actividades y posturas ergonómicas observadas.

De igual manera, la selección de fincas fue por conveniencia y disponibilidad de los agricultores, resultando solo una finca en la zona de Tejar y solamente una finca a una altitud por encima de los 3000 metros. Por eso, será necesario seguir estudiando en la zona para poder comprobar si observaciones y mediciones de este estudio representan tanto las condiciones normales como el rango de condiciones en la zona.

Tercero, existe una limitación en el cálculo exacto de SED por sitios anatómicos en cada trabajador agrícola al no poseer dosímetros personales. Finalmente, es importante notar que el equipo de medición (radiómetro) no describe el valor de cada longitud de onda (UVB, UVA); solamente indica el valor total de la irradiancia medida.

Aún tomando en cuenta las limitaciones del estudio, se considera que representa un gran avance como la primera estimación en el país en comparación con el índice UV que publica el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Uno de los resultados más importantes del presente estudio fue mostrar que el índice UV publicado por el IMN no es suficiente para la protección de los trabajos agrícolas. Este índice UV es reportado por regiones en el país, no toma en cuenta las variaciones entre altitudes, latitudes, temperatura, nubosidad y longitudes lo cual provoca condiciones significativamente diferentes de irradiancia ambiente. Como mención de un ejemplo en la Gran Área Metropolitana, San Pedro de Montes de Oca difiere en altitud y condiciones ambientales a Tierra Blanca de Cartago, pero para efectos del índice del IMN, se considera de la misma zona.

Lo mencionado anteriormente en las diferencias del índice UV publicado y regiones, también mostrará variaciones en las dosis de radiación UV con el equipo de medición (radiómetro) por las diferencias naturales medibles, la distribución anatómica debido a la diferente situación climática, sectores de actividad y el horario de trabajo en los trabajadores.

Un ejemplo específico del estudio proviene en la finca G donde se midió un valor máximo de irradiancia de  $167 \text{ W/m}^2$  mientras que el índice UV reportado ese día por el IMN fue de 8 el cual corresponde a la categoría de exposición “alta”, sin embargo según el valor de irradiancia medido tendría que reportar una categoría de exposición “muy alta” y enfatizar que el nivel de riesgo de los trabajadores agrícolas requiere una protección adicional.

En el desarrollo de las actividades laborales al aire libre influyen varios factores en la exposición a la RUV que se explican de la siguiente manera: (1) la mayoría de los sitios del cuerpo no están orientados horizontalmente, y por lo tanto más propensos a estar expuestos cuando el sol no está en su posición más alta cenit; (2) trabajar durante los períodos más calurosos (alrededor de almuerzo en verano) es incómodo y debe evitarse siempre que sea posible por los trabajadores regulares al aire libre; (3) como se indica anteriormente, las condiciones ambientales (irradiancia ambiental) (4) escenario de exposición (actividad postural, los períodos de exposición) tienen que ser considerados cuidadosamente en época lluviosa y época seca.

El valor máximo de irradiancia en relación a horas se registró en 147,4 W/m<sup>2</sup> a las 13:30 horas en época seca y 139,9 W/m<sup>2</sup> a las 12:00 horas en época lluviosa; corroborando la curva de evolución de la irradiancia (W/m<sup>2</sup>) después mediodía local en relación a la altura solar en esas horas de trabajo. Sin olvidar que el sol en época seca o verano se encuentra perpendicular a los trabajadores (mayor elevación solar) los rayos UV inciden más perpendicularmente a la superficie irradiada; en comparación con la época lluviosa que el sol tiene menor elevación solar en el plano horizontal (ICNIRP, 2010).

Un resultado interesante de esta investigación fue descubrir que la irradiancia es ascendente y sobrepasan los valores a partir de las 9:30 am con valores superiores a los 120 W/m<sup>2</sup>; no obstante esto difiere a la idea errónea que se ha tenido popularmente de 10:00 am 14:00 pm son las horas críticas de mayor riesgo a la salud humana.

Aunque es de esperar que las fincas de mayor altitud tengan mayor irradiancia dado a que el porcentaje de radiación por cada 1000 metros de altura aumenta entre 10-15% de radiación, este estudio mostró que este patrón puede variar. Un ejemplo claro de esto fue en la finca G con una altitud relativamente baja (2181,45 m.s.n.m.) mostró irradiancia más alta en todas las fincas. Los valores de irradiancia medida en la finca G fueron: un máximo de 167,0 W/m<sup>2</sup>, el valor mínimo fue 33,2 W/m<sup>2</sup> y el promedio de irradiancia fue 110,6 W/m<sup>2</sup> a una altitud de 2181,45 m.s.n.m en el ciclo de producción de cosecha del cultivo de papa en época seca.

Otro resultado importante de esta investigación fue la estimación máxima de dosis ultravioleta efectiva para los trabajadores agrícolas en la provincia de Cartago. La exposición máxima de

dosis ultravioleta efectiva en un periodo de 8 horas para piel sensible y desprotegida es  $30 \text{ J/m}^2$  usando el espectro de acción de la ACGIH que recomienda ICNIRP. Evidentemente los promedios de todos los días medidos en las fincas de estudio estaban por encima de lo establecido según la norma y hace constar la exposición a la RUV de los trabajadores agrícolas en la provincia de Cartago, coinciden con otras investigaciones que indicaron sobreexposición en poblaciones trabajadoras (Martins-Filho et al., 2011; Miligi et al., 2013; Nardini et al., 2014; Schmalwieser et al., 2010; Serrano et al., 2014; Siani et al., 2011, 2014; Vernez et al., 2015).

Para el cálculo de SED, se utilizó la irradiancia medida y los valores máximos obtenidos por el radiómetro, porque se buscaba estimar el potencial riesgo. Las exposiciones a la radiación UV en las dos épocas fueron superiores a 1,5 SED durante el ciclo de producción de siembra y el ciclo de producción de cosecha de los cultivos respectivamente considerando al rango de medición de 11:00 am – 13:00 pm en ambas. La media de exposición a la radiación UV fue de 7,91 SED en época seca con un valor de irradiancia de  $153,7 \text{ W/m}^2$  y en época lluviosa fue 4,95 SED con un valor de irradiancia de  $167 \text{ W/m}^2$  de los trabajadores agrícolas en la provincia de Cartago. En comparación con otras investigaciones relacionados directamente en el cálculo y cuantificación de SED, los valores fueron también superiores a 1,5 SED (Coblentz, M.W. & Stair, 1934; Miligi et al., 2013; Nardini et al., 2014; Piacentini et al., 2009; Schmalwieser et al., 2010; Serrano et al., 2014; Siani et al., 2011; Silva, 2015; Vernez et al., 2015). Específicamente Nardini et al. en Italia obtuvo valores medidos diarios de exposición superiores en el sitio anatómico nuca mientras Vernez et al. en Francia obtuvieron una exposición anual promedio de valores que sobrepasaban el límite recomendado y permitido por ICNIRP, en casi todas las ocupaciones que evaluaron en la investigación.

De igual manera, los cálculos de SED entre las horas 11:00 am – 13:00 pm en cada finca de la provincia de Cartago con las exposiciones a la radiación UV fueron potencialmente superiores a 1,5 SED límite recomendado y permitido por ICNIRP.

Según la “CIE 2000”, se requiere una exposición de aproximadamente 1,5 a 3,0 SED para producir un eritema perceptible en la piel no aclimatada blanco, sin protección. Es evidente que las medidas obtenidas en esta investigación son superiores a la norma. Durante las actividades

realizadas por los trabajadores agrícolas se encontró que los sitios anatómicos expuestos por la radiación ultravioleta fueron cara, manos y pecho.

Adicionalmente se determinó las zonas de mayor exposición en el cuerpo humano (cara y pecho). Los sitios anatómicos como antebrazo, cuello y nuca no resultaron expuestos a la radiación UV debido al equipo de protección que utilizan los trabajadores agrícolas, relacionado directamente por otras condiciones ambientales de las zonas de estudio (altitud, bajas temperaturas, humedad relativa, velocidad del viento y nubosidad) y escenarios de exposición (actividad postural) que adquieren para ejecutar las actividades diarias.

Las implicaciones de los resultados de la investigación muestran, primero, que Cartago tiene una ventaja en comparación a las demás provincias, el clima que predomina en la mayor parte del país son temperaturas mucho más altas. En las zonas de estudio predominan las temperaturas bajas lo cual obliga a los trabajadores agrícolas el uso de camisa manga larga, sueter o jacket y gorros en muchas ocasiones, lo cual inhibe un porcentaje de la RUV que absorben los trabajadores agrícolas en esos sitios anatómicos y al mismo tiempo generando una barrera de protección.

Segundo, se debe investigar y trabajar más en estas poblaciones con exposición al aire libre, para disminuir la incidencia de cáncer de piel que a nivel nacional aumentó 65% en los últimos 20 años con un total de 233 casos por cada 100 mil habitantes (CRHoy, 2016).

Anteriormente las estadísticas de las tasas de incidencia en cáncer en piel en el período 2000-2008 para hombres fueron 54,44 por cada 100.000 hombres; para mujeres 45,87 por cada 100.000 mujeres a nivel de país (MINSa, 2012).

La población costarricense se ve afectada, ya que el cáncer de piel representa el 25% de las causas de cáncer a nivel nacional (CCSS, 2013), de aquí la gran importancia de esta investigación en el país.

Los resultados de esta investigación servirán como base para expandir conocimiento sobre la magnitud de riesgo en relación a la irradiancia, hora, época, altitudes, posturas ergonómicas, sitios anatómicos de la exposición RUV y las diferencias en la exposición RUV para las

actividades agrícolas, por lo tanto sugiere una investigación más amplia en los trabajadores al aire libre.

La variabilidad y susceptibilidad de los trabajadores de acuerdo a su fototipo de piel plantea un reto en el establecimiento de un límite de exposición para todos hoy en día.

Sin embargo, esta gran gama de susceptibilidad individual no existe para el ojo, y la gente de todos los tipos raciales son susceptibles a las cataratas y otras enfermedades oculares relacionadas con la exposición a la RUV. Por ejemplo, en el estudio de Schmid-Kubista demuestra la importancia de la detección epidemiológica de los cambios oculares que reciben los agricultores por la exposición a la RUV. Según el estudio, los agricultores están en un mayor riesgo de desarrollar tumores palpebrales y conjuntivales que requieren tratamiento en algún momento (Schmid-Kubista, 2010). Este es otro efecto que se puede investigar a futuro en el país, para conocer el costo de atención, tratamiento e implicaciones en el sistema de salud nacional.

Un apoyo y avance a nivel de país para las personas que ya fueron afectadas por la exposición a la RUV tanto en la piel, daño del ADN (dímeros de pirimidinas y oxidación de bases), aumento de las células dañadas es el “fotoquimiopreventivo del jugo de mora *Rubus adenotrichos Schltdl* contra el daño celular causado por la radiación UVB en las células de la piel” han sido como medida de prevención (Calvo, 2013).

Los próximos pasos para el estudio del tema en Costa Rica incluye implementar el “*Modelo de exposición ocupacional a radiaciones ultravioletas en los trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago*” propuesto por la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental (EISLHA), del Instituto Tecnológico de Costa Rica cuando sea finalizado, el cual será el inicio para Costa Rica en exposición ocupacional a la RUV en trabajadores al aire y sus riesgos laborales.

## 9. CONCLUSIONES

Los trabajadores agrícolas reciben una exposición significativa a la radiación UV: esta investigación documentó valores de irradiancia superiores a  $30 \text{ J/m}^2$ .

Las exposiciones a la radiación UV en las épocas de estudio constaron la preocupación en las poblaciones agrícolas participante en la investigación en época seca, con un promedio de la irradiancia en época seca de  $91,1 \text{ W/m}^2$  registrado el 31 de marzo del 2016, A diferencia de la época lluviosa con un promedio de la irradiancia de  $73,2 \text{ W/m}^2$  registrado el 25 de noviembre del 2015.

El comportamiento de la irradiancia medida según hora en la jornada laboral de los trabajadores agrícolas, comienza a las 9:30 am, implicó las horas para los valores máximos entre 12:00 pm - 13:30 pm en ambas épocas y los valores mínimos entre 7:00 am - 9:00 am en ambas épocas según valores diarios medidos en cada hora.

Se comprobó que las exposiciones a la RUV superan el umbral máximo de exposición radiante recomendado por ICNIRP  $1,5 \text{ SED}$  en todas fincas de estudio aproximadamente 3-6 veces estas dosis de exposición en época lluviosa y aproximadamente 2-8 veces estas dosis de exposición en época seca, lo cual hace probable los eritemas solares en los trabajadores.

Se derterminaron los procesos y las actividades realizadas en las fincas de estudio y su relevancia, dentro del ciclo de producción de siembra y el ciclo de producción de cosecha de los cultivos además la postura ergonómica adquirida, esto puede alentar a los trabajadores agrícolas a planificar convenientemente sus actividades al aire libre.

Se concluyó que los sitios anatómicos con exposición a la RUV durante todos los procesos de producción de siembra y cosecha de los cultivos y sus actividades son la cara y pecho. Estos sitios anatómicos son susceptibles a los eritemas solares en los trabajadores agrícolas de igual manera contribuyen: la condición climática, patrones o escenarios de exposición, grupos o sectores de actividad y el horario de trabajo.

Se determinó que el índice UV reportado por el IMN, no es consistente según la categoría de exposición y su clasificacion, por lo tanto se debe enfatizar que el nivel de riesgo de los trabajadores agrícolas requiere una protección adicional.

## 10. RECOMENDACIONES

Implementar a nivel del trabajador las prácticas de protección básicas como: evitar la exposición innecesaria al sol, usar un protector solar si es posible, utilizar la ropa de protección adecuada y adaptar el horario de trabajo para coincidir con la menor exposición del sol.

Se recomienda ejecutar las tareas o actividades de mayor exposición a inicios de la jornada laboral donde la altura solar no se ha orientado perpendicular al plano horizontal.

La ropa de trabajo ideal según (CIE, 2006) puede proporcionar una protección sustancial a la exposición a la RUV para los trabajadores al aire libre, la transmitancia medida puede ser de ayuda para calcular UVER transmitida por el tejido y la cantidad de protección proporcionada se recomienda mencionar esta norma en términos de ropa de protección.

Se recomienda una investigación con una estrategia de muestreo anual, para dar a conocer como es el comportamiento de la RUV a través de todo el año y las condiciones de exposición (irradiancia ambiente, patrones de exposición, períodos de actividad, posturas ergonómicas).

Se recomienda un muestreo de campo a futuro con una muestra representativa, con intervalos de tiempo de 30 minutos de 9:30 am-13:30 pm en la jornada laboral, porque se encontró en la investigación que los valores ascendentes de irradiancia ( $W/m^2$ ) son a esas horas. De ser posible, cada trabajador debe contar con un dosímetro personal para el cálculo exacto de los sitios anatómicos expuestos a la RUV en los ciclos de producción agrícolas.

Se aconseja desarrollar el "*Modelo de exposición ocupacional a radiaciones ultravioletas en los trabajadores agrícolas de la provincia de Cartago*" propuesto por la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental (EISLHA), del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Realizar una investigación de otros grupos o sectores de actividad de menor exposición ocupacional a la RUV (ICNIRP, 2010) y la dosis efectiva diaria como ser: trabajadores de interiores (pintores), maestros, oficiales de policía, vendedores, jardineros, repartidores y

personal militar con el fin de realizar una comparación entre grupos u ocupaciones con un diseño de investigación más profundo.

Se recomienda estudios con los efectos fotobiológicos de las respuestas individuales a la exposición a la RUV y fotosensibilidad también deben ser investigados se recomienda sus propuestas a futuro.

Se recomienda dirigir y unificar esfuerzos Caja Costarricense de Seguro Social, el Consejo de Salud Ocupacional y trabajadores con el propósito de prevenir, detectar, tratar y rehabilitar a las personas con cáncer de piel con especial atención a los trabajadores, mediante la actualización de la *“Norma Nacional para la Prevención y Atención Integral de las Personas con Cáncer de Piel N° 38515-S”* vigente a partir del 26 de Agosto del 2014.

El índice UV debe ser considerado como un apoyo para investigaciones de la exposición a la RUV, porque en la salud pública este índice describe el riesgo de quemaduras solares en condiciones ambientales dadas, pero no es suficiente para la protección de los trabajadores agrícolas y quienes ejecutan tareas al aire libre como se demostró en la investigación.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Antonov, D., Hollunder, M., Schliemann, S., & Elsner, P. (2016). Ultraviolet Exposure and Protection Behavior in the General Population: A Structured Interview Survey. *Dermatology (Basel, Switzerland)*, 232(1), 11–6.
- ARPANSA. (2006). “Occupational Exposure to Ultraviolet Radiation.” *Series Publication No.12*, 33. Diciembre 2006. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.
- Ávalos, A. (10 de Mayo de 2016). *Colegio de Médicos aprueba costos mínimos de procedimientos médico-quirúrgicos*. La nación. San José, Costa Rica.
- Bauer, A., Beissert, S., & Knuschke, P. (2015). [Prevention of occupational solar UV radiation-induced epithelial skin cancer]. *Der Hautarzt; Zeitschrift Für Dermatologie, Venerologie, Und Verwandte Gebiete*, 66(3), 173–8.
- Brenes Rodríguez, R. (2011). *Plan de Desarrollo Humano Local del Cantón de Cartago 2010-2014*. Cartago, Costa Rica.
- Calvo, L. (2013). “Efecto quimiopreventivo de jugo de mora (*Rubus adenotrichos* Schldl) contra el daño celular causado por la radiación UVB en células de piel en un modelo de inducción de fotocarcinogénesis *In Vitro*.” Universidad de Costa Rica.
- Casale, G. R., Siani, A. M., Diémoz, H., Agnesod, G., Parisi, A. V, & Colosimo, A. (2015). Extreme UV index and solar exposures at Plateau Rosà (3500 m a.s.l.) in Valle d’Aosta Region, Italy. *The Science of the Total Environment*, 512-513, 622–30.
- CCSS. (2013). “Proyecto de Fortalecimiento de Atención Integral del Cáncer en la Red-CCSS.” Boletín N°8 Feb-Mar . San José, Costa Rica.
- CDC. (2015). ¿Qué es el cáncer de piel?. Division de Prevención y Control del Cáncer, Centros para el Control y Prevención de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos. CDC, Estados Unidos.
- CEPAL, FAO, & IICA,. (2014). “*Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*.” San José, Costa Rica.
- Chaves, J., Partanen, T., Wesseling, C., Chaverria, F., Monge, P., & Ruepert, C. (2005). “Exposiciones ocupacionales a agentes cancerígenos y plaguicidas en Costa Rica.” *ArchPrev Riesgos Labor*, 8:30, 7.
- CIE. (1987). “A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin.” *CIE Journal*, 6, 17–22.
- CIE. (2000). Erythema Reference Action Spectrum and Standard Erythema Dose. *CIE ISO 17166:1999(E)/CIE S 007-1998*, 4.
- CIE. (2006). “*UV Protection and Clothing*.” Austria, Vienna.
- Coblentz, M.W. & Stair, R. (1934). “Data on the espectral erythematic reaction of untanned

- human skin to ultraviolet radiation.” *National Bureau of Standards J. Res.*, 12, 13.
- Cohen, P. R., & Kurzrock, R. (2015). Merkel Cell Carcinoma with a Suppressor of Fused (SUFU) Mutation: Case Report and Potential Therapeutic Implications. *Dermatology and Therapy*.
- Córdoba, L. (2016a). *Altitud y los valores de irradiancia (W/m<sup>2</sup>) en las fincas de investigación*. Heredia, Costa Rica.
- Córdoba, L. (2016b). *Mapa de zonas geográficas con puntos de muestreo*. Heredia, Costa Rica.
- Córdoba, L. (2016c). *Ubicación de fincas en las zonas de estudio según su elevación*. Heredia, Costa Rica.
- Cortés Aguilera, A. J., Enciso Higuera, J., Reyes González, C. M., Arriaga Álvarez, E., Romero Melchor, C., Ribes Febles, J., ... Hernández Casal, M. (2011). El índice ultravioleta en el ámbito laboral: un instrumento educativo. *Medicina Y Seguridad Del Trabajo*, 57(225), 319–330.
- CRHoy. (2016). “Extreme las medidas en verano.” *Nacionales-Salud*, p. 1. San José, Costa Rica.
- Diffey, B. (2004). Climate change, ozone depletion and the impact on ultraviolet exposure of human skin. *Physics in Medicine and Biology*, 49(1), R1–11.
- Diffey, B. L. (1982). “The consistency of studies of ultraviolet erythema in normal human skin.” *Phys. Med. Biol.*, 27, 715.
- Escanilla, D., Albarrán, P., & Gúzman, D. (2013). “Exposure to solar ultraviolet radiation on street vendors in Santiago of Chile.” *Jornadas Científicas, Instituto de Salud Pública de Chile*.
- Fitzpatrick, T. (1975). “Soleil et peau” [Sun and skin]. *Journal de Médecine Esthétique*, 2, 33–34.
- Fitzpatrick, T. (1988). The Validity and Practicality of Sun-Reactive Skin Types I Through VI. *Arch Dermatol.*, 124, N° 6(869-871), 869–871.
- Fitzpatrick, T., & Szabo, G. (1983). “Biochemistry and physiology of melanin pigmentation.” *Biochemistry and Physiology of the Skin*, 687–712.
- Gobba, F. (2012). [Solar radiation exposure in agriculture: an underestimated risk]. *Giornale Italiano Di Medicina Del Lavoro Ed Ergonomia*, 34(3 Suppl), 390–2.
- Grigalavicius, M., Moan, J., Dahlback, A., & Juzeniene, A. (2016). Daily, seasonal, and latitudinal variations in solar ultraviolet A and B radiation in relation to vitamin D production and risk for skin cancer. *International Journal of Dermatology*, 55(1).
- Gurrea, G. (2014). “Análisis del efecto de las barreras físicas sobre la radiación UVB eritemática recibida por las personas.” Universidad Politécnica de Valencia. España.

- ICNIRP. (2010). ICNIRP Statement “Protecting workers from ultraviolet radiation.” *Health Physics Society*, 99(1), 66–87.
- IFIR. (2016). “Servicio Meteorológico Nacional de Argentina”. Buenos Aires, Argentina.
- IMN. (2016). “Índice Ultravioleta”. San José, Costa Rica.
- INEC. (2011). “Evaluación Demográfica del X Censo Nacional de la población para Costa Rica 2011 – 2015.” San José, Costa Rica.
- INEC. (2015). *VI Censo Nacional Agropecuario*. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Silicosis, D. T. (2014). “*Estudio de exposición a radiación solar en actividad extractiva a cielo abierto.*” Madrid, España.
- Karlica-Utrobčić, D., Batistić, D. J., & Urlić, M. (2014). Changes in the eyelids and conjunctiva caused by ultraviolet radiation. *Collegium Antropologicum*, 38(4), 1111–3.
- Kearney, G., Xu, X., Balanay, J. A., & Becker, A. (2014). Sun Safety Among Farmers and Farmworkers: A Review. *Journal of Agromedicine*, 19(1059-924X print/1545-0813 online), 53–65.
- Knave, B. (2000). “Sumario de Radiación No Ionizante.” In *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (p. 35).
- Kramer, D. M., Tenkate, T., Strahlendorf, P., Kushner, R., Gardner, A., & Holness, D. L. (2015). Sun Safety at Work Canada: a multiple case-study protocol to develop sun safety and heat protection programs and policies for outdoor workers. *Implementation Science : IS*, 10, 97.
- Lleó, A. (2015). *El Sol y la Tierra en evolución: La hermandad de todos los seres vivos en el Planeta Tierra*. (UPM-Press, Ed.) (1º ed.). Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Lucas, R., McMichael, T., Smith, W., & Armstrong, B. (2006). Solar Ultraviolet Radiation: Global burden of disease from solar ultraviolet radiation. *World Health*, 55(13), 987–999.
- MAG. (2013). “Boletín Estadístico Agropecuario N° 23, serie cronológica 2009-2012.” *Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, Departamento de Publicaciones Agrícolas*, 186. San José, Costa Rica.
- MAG. (1991). “Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica.” *N° 74*, 275–286.
- Mannetje, A., McLean, D., Glass, B., Cheung, K., Douwes, J., & Pearce, N. (2014). 0378 Occupational exposure to carcinogens in New Zealand. *Occupational and Environmental Medicine*, 71 Suppl 1, A47.
- Martins-Filho, P. R. S., Da Silva, L. C. F., & Piva, M. R. (2011). The prevalence of actinic cheilitis in farmers in a semi-arid northeastern region of Brazil. *International Journal of Dermatology*, 50(9), 1109–14. <http://doi.org/10.1111/j.1365-4632.2010.04802.x>

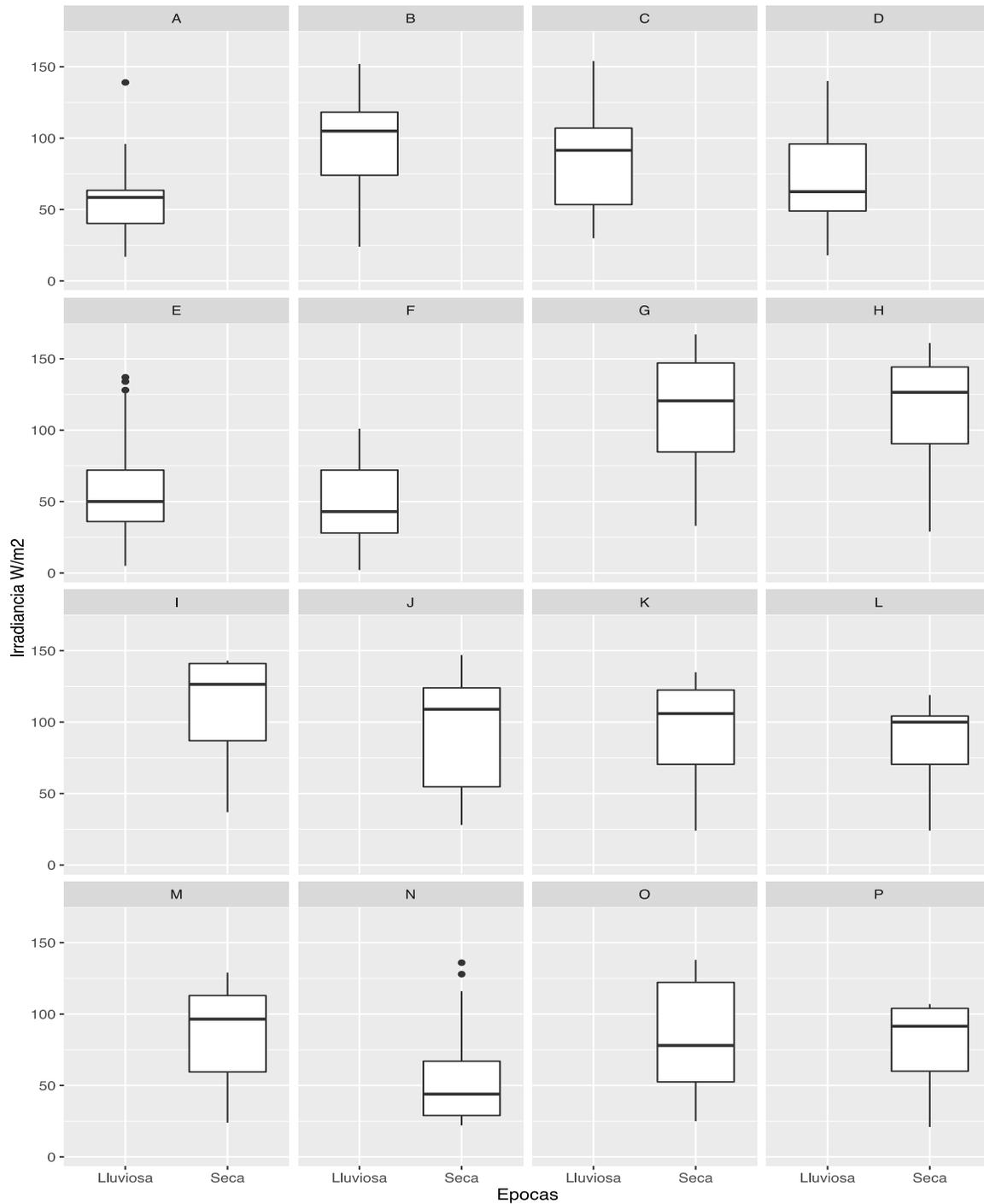
- McKenzie, R. L. (1998). "UV information in New Zealand." *W.M.O. Global Atmosphere Watch*, 127, 131–133.
- McKinlay, A.F. & Diffey, B. L. (1987). "A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin." *CIE Journal*, 6, 17.
- Miligi, L., Benvenuti, A., Legittimo, P., Badiali, A. M., Cacciarini, V., Chiarugi, A., ... Volpi, D. (2013). [Solar ultraviolet radiation risk in outdoor workers: a specific project of Tuscany Region (Italy)]. *Epidemiologia E Prevenzione*, 37(1), 51–9.
- MINSAL. (2012). "Plan Nacional para la Prevención y Control del Cáncer 2011-2017". San José, Costa Rica.
- MINSAL. (2011). "Guía Técnica de Radiación Ultravioleta de Origen Solar". Division de Políticas Públicas Saludables y Promoción. Departamento de Salud Ocupacional. Santiago, Chile.
- Monge-Pérez, J. E. (2014). "Producción y exportación de melón (*Cucumis melo*) en Costa Rica." *Tecnología En Marcha*, 27(1), 93–103.
- Nardini, G., Neri, D., & Paroncini, M. (2014). Measured anatomical distributions of solar UVR on strawberry production workers in Italy. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 20(2), 67–78.
- National Geographic Society. (2013a). ¿Qué es el Calentamiento Global? Retrieved from <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/calentamiento-global-definicion>
- National Geographic Society. (2013b). Cambio climático, sequías e inundaciones.
- National Institute of Health. (2016). Optical Imaging | National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering.
- OISS. (2010). "Industrias Peligrosas para el Cáncer Ocupacional en América Central." Barcelona, España.
- OIT. (2010). Laborsta en línea-Estadísticas. Organización Internacional del Trabajo. Ginebra, Suiza.
- OMM. (1998). "Report WMO-WHO/ meeting of experts on standardization of UV indices and their dissemination to the public." *W.M.O. Global Atmosphere Watch*, 127.
- OMS. (1995). "Protection against exposure to ultraviolet radiation." *Report WHO/EHG/95* (Vol. 17). Ginebra.
- Otárola, S. (2 de marzo de 2015). *Hospital México adquirió moderno equipo para el tratamiento del cáncer de piel*. GobiernoCR. San José, Costa Rica.
- Partanen, T., Monge, P., & Wesseling, C. (2009). "Causas y prevención del cáncer ocupacional." *Acta Medica Costarricense*, 51 n°4. San José, Costa Rica.

- Piacentini, R., Margasin, S., Salum, G., Cabrini, J., Maciá, A., & Gómez, F. (2009). Incidente of solar erythema irradiance on the whole body, measured during summer in the region of Rosario, Argentina. *Med Cutan Iber Lat Am*, 37(3), 130–134.
- Piedra, V. (2014). “Manual de normas para el tratamiento de cáncer en Costa Rica.” *La Gaceta, Serie de Publicaciones*, p. 329. San José, Costa Rica.
- Rafieepour, A., Ghamari, F., Mohammadbeigi, A., & Asghari, M. (2015). Seasonal variation in exposure level of types a and B ultraviolet radiation: an environmental skin carcinogen. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, 5(2), 129–33.
- Robles, A., & Arias, E. (2013). “Perfil de Salud Ocupacional Costa Rica.” *Serie de Salud, Trabajo Y Ambiente SALTRA/IRET-UNA N° 14, 1*, 47.
- Roy C.T., Gies, H.P. & Graeme, E. (1990). “Ozone depletion.” *Science*, 327, 235–236.
- SALTRA. (2006). “Boletín n° 1 del proyecto Empoderamiento del sector informal rural: Salud de la población trabajadora temporal en Los Santos.” (1).Heredia, Costa Rica.
- SALTRA/CAREX. (2013). “Exposición Ocupacional Agentes Carcinogénicos en Centro América,” 9.Heredia, Costa Rica.
- Schmalwieser, A. W., Cabaj, A., Schaubberger, G., Rohn, H., Maier, B., & Maier, H. (2010). Facial solar UV exposure of Austrian farmers during occupation. *Photochemistry and Photobiology*, 86(6), 1404–13.
- Schmid-Kubista, K. (2010). “ Effect of work-related ultraviolet exposure and ophthalmic changes in Austrian farmers: the SVB-UV study.” *Ophthalmic Res.*, 43(4), 201–7.
- SEPSA. (2013). “Principales Indicadores Económicos del Sector Agropecuario-Indicadores Económicos 2010-2013.”San José, Costa Rica.
- Serrano Jareño, M.-A. (2013). *Estudio de irradiancia de bandas del espectro solar. Factores de banda para la caracterización de condiciones atmosféricas en Valencia*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Serrano, M.-A., Cañada, J., & Moreno, J. C. (2010). “Erythema Ultraviolet Exposure of Cyclists in Valencia, Spain.” *Photochemistry and Photobiology*, 86, 716–721.
- Serrano, M.-A., Cañada, J., & Moreno, J. C. (2013). Solar UV exposure in construction workers in Valencia, Spain. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 23, 525–530.
- Serrano, M.-A., Cañada, J., Moreno, J. C., & Gurrea, G. (2014). Occupational UV exposure of environmental agents in Valencia, Spain. *Photochemistry and Photobiology*, 90(4), 911–8.
- Si, S., Carey, R., Reid, A., Peters, S., Glass, D. D., Driscoll, T., ... Fritschi, L. (2016). Occupational exposure to carcinogens in Australian road transport workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 59(1), 31–41.

- Siani, A. M., Casale, G. R., Modesti, S., & Colosimo, A. (2014). "Investigation on the capability of polysulphone for measuring biologically effective solar UV exposures." *Photochemical and Photobiological Sciences*, 13(3), 521–530.
- Siani, A. M., Casale, G. R., Sisto, R., Colosimo, A., Lang, C. A., & Kimlin, M. G. (2011). Occupational exposures to solar ultraviolet radiation of vineyard workers in Tuscany (Italy). *Photochemistry and Photobiology*, 87(4), 925–34.
- Silva, A. A. (2015). The diffuse component of erythematous ultraviolet radiation. *Photochemical & Photobiological Sciences: Official Journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology*, 14(11), 1941–51. <http://doi.org/10.1039/c5pp00131e>
- Turner, S., Forman, S. D., McNamee, R., Wilkinson, S. M., & Agius, R. (2015). Investigating work-related neoplasia associated with solar radiation. *Occupational Medicine (Oxford, England)*, 65(1), 22–8.
- UNEP. (2014). Climate for Life. *Our Planet*, (November).
- Vernez, D., Koechlin, A., Milon, A., Boniol, M., Valentini, F., Chignol, M.-C., ... Boniol, M. (2015). Anatomical UV Exposure in French Outdoor Workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 57(11), 1192–1196.
- Wright, C. Y., Brogniez, C., Ncongwane, K. P., Sivakumar, V., Coetzee, G., Metzger, J.-M., ... Sauvage, B. (2013). Sunburn risk among children and outdoor workers in South Africa and Reunion Island coastal sites. *Photochemistry and Photobiology*, 89(5).
- ZEEC. (2012). Guía de Inversión de Cartago. *El Financiero, Costa Rica*, p. 56. San José, Costa Rica.

## ANEXO 1

Anexo 1. Resumen de gráfico cada finca con la irradiancia medida ( $W/m^2$ ) según valores obtenidos y época de estudio.



## APÉNDICE 1

Matriz QFD. Ciclo de producción de siembra (papa, zanahoria, cebolla)

<b>Siembra papa, zanahoria, cebolla</b>																			
<b>Actividades/Tareas</b>	<b>Postura</b>					<b>Sitio Anatómico</b>					<b>Equipo de protección personal utilizado</b>					<b>Totales</b>			
	A	D	I	S	Ab	Ca	Cu	Ma	Pe	G	S	C	Cmc	Cml	B		Ls	P	G
1. Distribución y limpieza del terreno con tractor.				X	X			X		X				X		X		X	
2. Dividir el terreno en caminos y surcos.	X		X			X		X	X	X	X		X		X		X	X	
3. Surcar la tierra con máquina rotadora o empleando un caballo para los surcos.		X				X	X	X	X	X			X		X		X	X	
4. Sembrado de papa, zanahoria, cebolla.	X		X			X		X	X	X			X		X		X		
5. Aplicación de abono orgánico manualmente.		X	X			X	X	X	X	X			X		X		X		
6. Cubrimiento de surco con tierra.	X					X			X	X			X		X		X	X	
7. Aplicación de plaguicidas (fertilizantes) con bomba manual.		X				X	X			X			X		X		X	X	
8. Aplicación de abono orgánico para mantenimiento del cultivo.		X	X			X			X	X			X		X		X		
<b>Totales</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>7</b>		<b>5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>1</b>		<b>8</b>	<b>8</b>		<b>8</b>			

**Postura Ergonómica**= Agachado, De pie, Inclinado, Sentado

**Sitio Anatómico**= Antebrazo, Cara, Cuello, Manos, Pecho

**EPI**= Gorra, Sombrero ala ancha, Chonetes, Camisa manga corta, Camisa manga larga, Bandana(Pañuelo), Lentes de sol, Pantalón, Guantes.

## APÉNDICE 2

### Matriz QFD. Ciclo de producción de cosecha (papa, zanahoria, cebolla)

Cosecha papa, zanahoria, cebolla																						
Actividades/Tareas	Postura				Sitio Anatómico							Equipo de protección personal utilizado										Totales
	A	D	I	S	Ab	Ca	Cu	Ma	Pe	G	S	C	Cmc	Cml	B	Ls	P	G				
1. Extraer (arrancar) las papas del terreno.	X	X				X			X	X	X						X	X	X		<b>9</b>	
2. Seleccionar las papas según tamaño( pequeña, mediana, grande)	X	X				X			X	X	X						X	X	X		<b>9</b>	
3. Colocar las papas en canastas.	X	X				X			X	X	X						X	X	X		<b>9</b>	
4. Colocar las papas en sacos de 43-45 kg.		X				X	X	X	X	X							X	X	X		<b>8</b>	
5. Cargar los sacos de papas al tractor.		X	X			X	X		X	X							X	X	X	X	<b>9</b>	
<b>Totales</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>			<b>5</b>			<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>						<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>		

**Postura Ergonómica=** Agachado, De pie, Inclinado, Sentado

**Sitio Anatómico=** Antebrazo, Cara, Cuello, Manos, Pecho

**EPI=** Gorra, Sombrero ala ancha, Chonetes, Camisa manga corta, Camisa manga larga, Bandana (Pañuelo), Lentes de sol, Pantalón, Guantes.

### APÉNDICE 3

Matriz QFD. Ciclo de producción siembra de semillas o almácigos.

Siembra de semillas o almácigos																			
Actividades/Tareas	Postura				Sitio Anatómico							Equipo de protección personal utilizado							Totales
	A	D	I	S	Ab	Ca	Cu	Ma	Pe	G	S	C	Cmc	Cml	B	Ls	P	G	
1. Preparación de la tierra con abonos orgánicos.		X	X				X			X				X			X		5
2. Lavado de bandejas plásticas.		X				X	X	X		X				X				X	6
3. Llenado de bandejas plásticas con tierra.		X				X		X						X			X	X	6
4. Sembrado de semillas.		X											X					X	2
5. Germinación de la semilla.		X											X					X	2
6. Traslado al invernadero.		X				X	X	X	X				X		X			X	6
<b>Totales</b>		<b>6</b>	<b>1</b>			<b>3</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>			<b>3</b>		<b>1</b>		<b>6</b>		

**Postura Ergonómica**= Agachado, De pie, Inclinado, Sentado

**Sitio Anatómico**= Antebrazo, Cara, Cuello, Manos, Pecho

**EPI**= Gorra, Sombrero ala ancha, Chonetes, Camisa manga corta, Camisa manga larga, Bandana(Pañuelo), Lentes de sol, Pantalón, Guantes.

## APÉNDICE 4

Matriz QFD. Ciclo de producción cosecha de semillas o almácigos.

Cosecha semillas o almácigos																					
Actividades/Tareas	Postura				Sitio Anatómico							Equipo de protección personal utilizado									Totales
	A	D	I	S	Ab	Ca	Cu	Ma	Pe	G	S	C	Cmc	Cml	B	Ls	P	G			
1. Re-Siembra de semillas en bandejas plásticas.		X											X						X	2	
2. Aplicación de plaguicidas (fungicidas) con bomba manual al aire libre y dentro del invernadero.		X	X			X		X		X				X					X	7	
3. Riego de las semillas con agua al aire libre y dentro del invernadero.		X				X		X		X				X					X	6	
4. Riego de las semillas con fertilizantes al aire libre y dentro del invernadero.		X				X		X		X				X					X	6	
5. Traslado a la bodega.		X				X								X					X	4	
<b>Totales</b>		<b>5</b>	<b>1</b>			<b>4</b>		<b>3</b>		<b>3</b>				<b>4</b>					<b>5</b>		

**Postura Ergonómica**= Agachado, De pie, Inclinado, Sentado

**Sitio Anatómico**= Antebrazo, Cara, Cuello, Manos, Pecho

**EPI**= Gorra, Sombrero ala ancha, Chonetes, Camisa manga corta, Camisa manga larga, Bandana (Pañuelo), Lentes de sol, Pantalón, Guantes.

## APÉNDICE 5

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

Finca	Irradiancia		SED
	W/m <sup>2</sup>	Hora	
A	60	8:30	4,2
A	41	8:40	2,87
A	22	8:50	1,54
A	23	9:00	1,61
A	23	9:10	1,61
A	24	9:20	1,68
A	55	9:30	3,85
A	61	9:40	4,27
A	60	9:50	4,2
A	61	10:00	4,27
A	60	10:10	4,2
A	60	10:20	4,2
A	61	10:30	4,27
A	62	10:40	4,34
A	63	10:50	4,41
A	65	11:00	4,55
A	75	11:10	5,25
A	57	11:20	3,99
A	63	11:30	4,41
A	72	11:40	5,04
A	44	12:24	3,08
A	17	12:25	1,19
A	25	12:26	1,75
A	27	12:27	1,89
A	32	12:28	2,24
A	38	12:29	2,66
A	78	12:30	5,46
A	96	12:31	6,72
A	46	12:32	3,22
A	45	12:33	3,15
A	92	12:34	6,44
A	65	12:35	4,55
A	41	12:36	2,87
A	36	12:37	2,52
A	48	12:38	3,36
A	85	12:39	5,95
A	72	12:40	5,04
A	139	12:41	9,73
A	55	12:42	3,85
A	49	12:43	3,43

## APÉNDICE 6

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

Irradiancia				Irradiancia			
Finca	W/m2	Hora	SED	Finca	W/m2	Hora	SED
B	35	7:10	2.45	B	116	12:38	8.12
B	37	7:20	2.59	B	116	12:39	8.12
B	24	7:30	1.68	B	116	12:40	8.12
B	24	7:40	1.68	B	100	12:41	7
B	30	7:50	2.1	B	115	12:42	8.05
B	35	8:00	2.45	B	113	12:43	7.91
B	35	8:10	2.45	B	77	12:44	5.39
B	43	8:20	3.01	B	106	12:45	7.42
B	52	8:30	3.64	B	106	12:46	7.42
B	72	8:40	5.04	B	116	12:47	8.12
B	101	8:50	7.07	B	117	12:48	8.19
B	74	9:00	5.18	B	98	12:49	6.86
B	113	9:10	7.91	B	105	12:50	7.35
B	78	9:20	5.46	B	108	12:51	7.56
B	127	9:30	8.89	B	108	12:52	7.56
B	74	9:40	5.18	B	105	12:53	7.35
B	32	9:50	2.24	B	104	12:54	7.28
B	139	10:00	9.73	B	104	12:55	7.28
B	129	10:10	9.03	B	104	12:56	7.28
B	124	10:20	8.68	B	113	12:57	7.91
B	111	10:57	7.77	B	105	13:14	7.35
B	121	11:02	8.47	B	117	13:14	8.19
B	94	11:07	6.58	B	123	13:15	8.61
B	135	11:12	9.45	B	90	13:15	6.3
B	105	11:17	7.35	B	132	13:16	9.24
B	152	11:22	10.64	B	89	13:16	6.23
B	61	11:27	4.27	B	99	13:17	6.93
B	141	11:32	9.87	B	138	13:17	9.66
B	110	11:37	7.7	B	122	13:18	8.54
B	118	11:42	8.26	B	108	13:18	7.56
B	78	11:47	5.46	B	94	13:19	6.58
B	122	11:52	8.54	B	67	13:19	4.69
B	98	11:57	6.86	B	66	13:20	4.62
B	145	12:02	10.15	B	129	13:20	9.03
B	133	12:07	9.31	B	68	13:21	4.76
B	51	12:12	3.57	B	107	13:21	7.49
B	126	12:17	8.82	B	96	13:22	6.72
B	121	12:22	8.47	B	65	13:22	4.55
B	122	12:27	8.54	B	52	13:23	3.64
B	119	12:32	8.33	B	50	13:23	3.5

## APÉNDICE 7

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

Irradiancia				Irradiancia			
Finca	W/m2	Hora	SED	Finca	W/m2	Hora	SED
C	30	7:05	2.1	C	40	11:55	2.8
C	33	7:15	2.31	C	54	11:58	3.78
C	46	7:25	3.22	C	117	12:01	8.19
C	50	7:35	3.5	C	91	12:04	6.37
C	40	7:45	2.8	C	48	12:07	3.36
C	47	7:55	3.29	C	100	12:10	7
C	38	8:05	2.66	C	92	12:13	6.44
C	39	8:15	2.73	C	92	12:16	6.44
C	90	8:25	6.3	C	93	12:19	6.51
C	58	8:35	4.06	C	107	12:22	7.49
C	96	8:45	6.72	C	92	12:25	6.44
C	87	8:55	6.09	C	102	12:28	7.14
C	67	9:05	4.69	C	52	12:31	3.64
C	84	9:15	5.88	C	97	12:34	6.79
C	73	9:25	5.11	C	106	12:37	7.42
C	80	9:35	5.6	C	107	12:40	7.49
C	102	9:45	7.14	C	115	12:43	8.05
C	96	9:55	6.72	C	93	12:46	6.51
C	100	10:05	7	C	117	12:49	8.19
C	78	10:15	5.46	C	114	12:52	7.98
C	139	10:17	9.73				
C	85	10:22	5.95				
C	137	10:27	9.59				
C	154	10:32	10.78				
C	119	10:37	8.33				
C	113	10:42	7.91				
C	145	10:47	10.15				
C	145	10:52	10.15				
C	98	10:57	6.86				
C	89	11:02	6.23				
C	111	11:07	7.77				
C	73	11:12	5.11				
C	51	11:17	3.57				
C	64	11:22	4.48				
C	45	11:27	3.15				
C	69	11:32	4.83				
C	138	11:37	9.66				
C	39	11:42	2.73				
C	46	11:47	3.22				
C	109	11:52	7.63				

## APÉNDICE 8

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

Irradiancia				Irradiancia			
Finca	W/m2	Med. Horas	SED	Finca	W/m2	Med. Horas	SED
D	18	7:05	1.26	D	41	12:14	2.87
D	25	7:10	1.75	D	80	12:17	5.6
D	26	7:15	1.82	D	121	12:20	8.47
D	30	7:20	2.1	D	51	12:23	3.57
D	32	7:25	2.24	D	138	12:26	9.66
D	34	7:30	2.38	D	125	12:29	8.75
D	37	7:35	2.59	D	49	12:32	3.43
D	40	7:40	2.8	D	59	12:35	4.13
D	42	7:45	2.94	D	77	12:38	5.39
D	41	7:50	2.87	D	80	12:41	5.6
D	46	7:55	3.22	D	85	12:44	5.95
D	49	8:00	3.43	D	76	12:47	5.32
D	52	8:05	3.64	D	104	12:50	7.28
D	56	8:10	3.92	D	117	12:53	8.19
D	59	8:15	4.13	D	112	12:56	7.84
D	63	8:20	4.41	D	108	12:59	7.56
D	66	8:25	4.62	D	107	13:02	7.49
D	67	8:30	4.69	D	104	13:05	7.28
D	65	8:35	4.55	D	99	13:08	6.93
D	61	8:40	4.27	D	92	13:11	6.44
D	60	9:00	4.2	D	92	13:17	6.44
D	50	9:10	3.5	D	62	13:18	4.34
D	51	9:20	3.57	D	62	13:19	4.34
D	39	9:30	2.73	D	52	13:20	3.64
D	45	9:40	3.15	D	51	13:21	3.57
D	38	9:50	2.66	D	51	13:22	3.57
D	24	10:00	1.68	D	50	13:23	3.5
D	23	10:10	1.61	D	53	13:24	3.71
D	40	10:20	2.8	D	54	13:25	3.78
D	70	10:30	4.9	D	106	13:26	7.42
D	85	10:40	5.95	D	116	13:27	8.12
D	44	10:50	3.08	D	113	13:28	7.91
D	53	11:00	3.71	D	109	13:29	7.63
D	83	11:10	5.81	D	105	13:30	7.35
D	95	11:20	6.65	D	77	13:31	5.39
D	102	11:30	7.14	D	98	13:32	6.86
D	69	11:40	4.83	D	98	13:33	6.86
D	96	11:50	6.72	D	96	13:34	6.72
D	140	12:00	9.8	D	95	13:35	6.65
D	57	12:10	3.99	D	94	13:36	6.58

## APÉNDICE 9

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

Finca	Irradiancia		SED
	W/m <sup>2</sup>	Hora	
E	41	6:50	2.87
E	45	7:00	3.15
E	29	7:10	2.03
E	32	7:20	2.24
E	38	7:30	2.66
E	46	7:40	3.22
E	53	7:50	3.71
E	59	8:00	4.13
E	72	8:10	5.04
E	74	8:20	5.18
E	74	8:30	5.18
E	74	8:40	5.18
E	53	8:50	3.71
E	80	9:00	5.6
E	50	9:10	3.5
E	36	9:20	2.52
E	70	9:30	4.9
E	42	9:40	2.94
E	41	9:50	2.87
E	43	10:00	3.01
E	128	10:07	8.96
E	56	10:17	3.92
E	85	10:27	5.95
E	53	10:37	3.71
E	34	10:47	2.38
E	137	10:57	9.59
E	126	11:07	8.82
E	134	11:17	9.38
E	21	11:27	1.47
E	11	11:47	0.77
E	71	11:57	4.97
E	33	12:07	2.31
E	5	12:17	0.35
E	17	12:27	1.19
E	63	12:37	4.41
E	40	12:47	2.8
E	14	12:57	0.98

## APÉNDICE 10

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m<sup>2</sup></b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
F	22	6:55	1.54
F	25	7:05	1.75
F	29	7:15	2.03
F	30	7:25	2.1
F	37	7:35	2.59
F	29	7:45	2.03
F	47	7:55	3.29
F	48	8:05	3.36
F	33	8:15	2.31
F	34	8:25	2.38
F	42	8:35	2.94
F	63	8:45	4.41
F	78	8:55	5.46
F	2	9:05	0.14
F	75	9:15	5.25
F	82	9:25	5.74
F	83	9:35	5.81
F	98	9:45	6.86
F	81	9:55	5.67
F	100	10:05	7
F	55	10:07	3.85
F	88	10:17	6.16
F	90	10:27	6.3
F	64	10:37	4.48
F	101	10:47	7.07
F	56	10:57	3.92
F	44	11:07	3.08
F	37	11:17	2.59
F	71	11:27	4.97
F	51	11:37	3.57
F	19	11:47	1.33
F	20	11:57	1.4
F	19	12:07	1.33
F	24	12:17	1.68
F	32	12:27	2.24
F	45	12:37	3.15
F	36	12:47	2.52
F	13	12:57	0.91
F	17	13:07	1.19
F	9	13:17	0.63

## APÉNDICE 11

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

Finca	Irradiancia		SED
	W/m2	Med. Horas	
G	33	6:50	2.31
G	40	7:00	2.8
G	44	7:10	3.08
G	46	7:20	3.22
G	55	7:30	3.85
G	54	7:40	3.78
G	62	7:50	4.34
G	71	8:00	4.97
G	85	8:10	5.95
G	85	8:20	5.95
G	92	8:30	6.44
G	108	8:40	7.56
G	106	8:50	7.42
G	114	9:00	7.98
G	117	9:10	8.19
G	121	9:20	8.47
G	122	9:30	8.54
G	120	9:40	8.4
G	122	9:50	8.54
G	122	10:00	8.54
G	123	10:05	8.61
G	123	10:15	8.61
G	133	10:25	9.31
G	147	10:35	10.29
G	145	10:45	10.15
G	147	10:55	10.29
G	149	11:05	10.43
G	152	11:15	10.64
G	152	11:25	10.64
G	155	11:35	10.85
G	157	11:45	10.99
G	158	11:55	11.06
G	161	12:05	11.27
G	167	12:15	11.69
G	84	12:25	5.88
G	100	12:35	7
G	86	12:45	6.02
G	81	12:55	5.67
G	149	13:05	10.43
G	138	13:15	9.66

## APÉNDICE 12

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m2</b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
H	29	6:50	2.03
H	35	7:00	2.45
H	38	7:10	2.66
H	39	7:20	2.73
H	50	7:30	3.5
H	55	7:40	3.85
H	60	7:50	4.2
H	71	8:00	4.97
H	78	8:10	5.46
H	86	8:20	6.02
H	92	8:30	6.44
H	97	8:40	6.79
H	101	8:50	7.07
H	107	9:00	7.49
H	113	9:10	7.91
H	117	9:20	8.19
H	122	9:30	8.54
H	125	9:40	8.75
H	130	9:50	9.1
H	128	10:00	8.96
H	143	10:05	10.01
H	147	10:15	10.29
H	146	10:25	10.22
H	134	10:35	9.38
H	114	10:45	7.98
H	149	10:55	10.43
H	148	11:05	10.36
H	152	11:15	10.64
H	146	11:25	10.22
H	109	11:35	7.63
H	146	11:45	10.22
H	141	11:55	9.87
H	161	12:05	11.27
H	145	12:15	10.15
H	145	12:25	10.15
H	132	12:35	9.24
H	144	12:45	10.08
H	129	12:55	9.03
H	133	13:05	9.31
H	128	13:15	8.96

### APÉNDICE 13

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

Finca	Irradiancia		SED
	W/m <sup>2</sup>	Med. Horas	
I	37	7:30	2.59
I	43	7:40	3.01
I	49	7:50	3.43
I	47	8:00	3.29
I	54	8:10	3.78
I	52	8:20	3.64
I	67	8:30	4.69
I	73	8:40	5.11
I	84	8:50	5.88
I	88	9:00	6.16
I	61	9:10	4.27
I	97	9:20	6.79
I	101	9:30	7.07
I	111	9:40	7.77
I	116	9:50	8.12
I	118	10:00	8.26
I	118	10:10	8.26
I	124	10:20	8.68
I	127	10:30	8.89
I	126	10:40	8.82
I	113	10:44	7.91
I	135	10:49	9.45
I	135	10:54	9.45
I	136	10:59	9.52
I	138	11:04	9.66
I	139	11:09	9.73
I	141	11:14	9.87
I	141	8:40	9.87
I	140	11:24	9.8
I	141	11:29	9.87
I	143	11:34	10.01
I	141	11:39	9.87
I	141	11:44	9.87
I	142	11:49	9.94
I	142	11:54	9.94
I	141	11:59	9.87
I	141	12:04	9.87
I	141	12:09	9.87
I	140	12:14	9.8
I	140	12:19	9.8

## APÉNDICE 14

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m2</b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
J	28	7:05	1.96
J	30	7:15	2.1
J	32	7:25	2.24
J	35	7:35	2.45
J	38	7:45	2.66
J	40	7:55	2.8
J	44	8:05	3.08
J	47	8:15	3.29
J	51	8:25	3.57
J	54	8:35	3.78
J	55	8:45	3.85
J	60	8:55	4.2
J	63	9:05	4.41
J	68	9:15	4.76
J	66	9:25	4.62
J	74	9:35	5.18
J	78	9:45	5.46
J	81	9:55	5.67
J	106	10:05	7.42
J	107	10:15	7.49
J	111	10:40	7.77
J	112	10:50	7.84
J	112	11:00	7.84
J	112	11:10	7.84
J	115	11:20	8.05
J	118	11:30	8.26
J	118	11:40	8.26
J	118	11:50	8.26
J	122	12:00	8.54
J	123	12:10	8.61
J	127	12:20	8.89
J	129	12:30	9.03
J	145	12:40	10.15
J	147	12:50	10.29
J	140	13:00	9.8
J	147	13:10	10.29
J	146	13:20	10.22
J	147	13:30	10.29
J	140	13:40	9.8
J	147	13:50	10.29

## APÉNDICE 15

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Irradiancia</b>			
<b>Finca</b>	<b>W/m2</b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
K	29	6:50	2.03
K	24	7:00	1.68
K	29	7:10	2.03
K	35	7:20	2.45
K	41	7:30	2.87
K	47	7:40	3.29
K	53	7:50	3.71
K	60	8:00	4.2
K	66	8:10	4.62
K	66	8:20	4.62
K	72	8:30	5.04
K	79	8:40	5.53
K	84	8:50	5.88
K	89	9:00	6.23
K	94	9:10	6.58
K	98	9:20	6.86
K	101	9:30	7.07
K	104	9:40	7.28
K	108	9:50	7.56
K	115	10:00	8.05
K	93	10:10	6.51
K	120	10:20	8.4
K	115	10:30	8.05
K	128	10:40	8.96
K	129	10:50	9.03
K	130	11:00	9.1
K	129	11:10	9.03
K	128	11:20	8.96
K	127	11:30	8.89
K	126	11:40	8.82
K	126	11:50	8.82
K	124	12:00	8.68
K	122	12:10	8.54
K	120	12:20	8.4
K	119	12:30	8.33
K	119	12:40	8.33
K	118	12:50	8.26
K	81	13:00	5.67
K	135	13:10	9.45
K	116	13:20	8.12

## APÉNDICE 16

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m2</b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
L	29	7:30	2.03
L	24	7:40	1.68
L	29	7:50	2.03
L	35	8:00	2.45
L	41	8:10	2.87
L	47	8:20	3.29
L	53	8:30	3.71
L	60	8:40	4.2
L	66	8:50	4.62
L	66	9:00	4.62
L	72	9:10	5.04
L	79	9:20	5.53
L	84	9:30	5.88
L	89	9:40	6.23
L	94	9:50	6.58
L	98	10:00	6.86
L	101	10:10	7.07
L	104	10:20	7.28
L	108	10:30	7.56
L	115	10:40	8.05
L	103	11:20	7.21
L	105	11:25	7.35
L	105	11:30	7.35
L	105	11:35	7.35
L	106	11:40	7.42
L	106	11:45	7.42
L	106	11:50	7.42
L	104	11:55	7.28
L	105	12:00	7.35
L	104	12:05	7.28
L	104	12:10	7.28
L	103	12:15	7.21
L	102	12:20	7.14
L	102	12:25	7.14
L	119	12:30	8.33
L	100	12:35	7
L	100	12:40	7
L	98	12:45	6.86
L	98	12:50	6.86
L	97	12:55	6.79

## APÉNDICE 17

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m2</b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
M	24	7:00	1.68
M	26	7:10	1.82
M	29	7:20	2.03
M	33	7:30	2.31
M	38	7:40	2.66
M	43	7:50	3.01
M	49	8:00	3.43
M	54	8:10	3.78
M	61	8:20	4.27
M	67	8:30	4.69
M	79	8:40	5.53
M	83	8:50	5.81
M	87	9:00	6.09
M	90	9:10	6.3
M	95	9:20	6.65
M	98	9:30	6.86
M	102	9:40	7.14
M	105	9:50	7.35
M	107	10:00	7.49
M	109	10:10	7.63
M	111	10:15	7.77
M	112	10:25	7.84
M	112	10:35	7.84
M	106	10:45	7.42
M	111	10:55	7.77
M	124	11:05	8.68
M	124	11:15	8.68
M	120	11:25	8.4
M	122	11:35	8.54
M	123	11:45	8.61
M	127	11:55	8.89
M	129	12:05	9.03
M	124	12:15	8.68
M	120	12:25	8.4
M	55	12:35	3.85
M	50	12:45	3.5
M	82	12:55	5.74
M	84	13:05	5.88
M	88	13:15	6.16
M	116	13:25	8.12

## APÉNDICE 18

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m<sup>2</sup></b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
N	23	7:00	1.61
N	22	7:10	1.54
N	25	7:20	1.75
N	28	7:30	1.96
N	31	7:40	2.17
N	46	7:50	3.22
N	57	8:00	3.99
N	66	8:20	4.62
N	62	8:30	4.34
N	74	8:40	5.18
N	68	8:50	4.76
N	38	9:00	2.66
N	77	9:10	5.39
N	46	9:20	3.22
N	47	9:30	3.29
N	25	9:40	1.75
N	26	9:50	1.82
N	28	10:00	1.96
N	41	10:10	2.87
N	32	10:15	2.24
N	136	10:25	9.52
N	62	10:35	4.34
N	128	10:45	8.96
N	116	10:55	8.12
N	100	11:05	7
N	61	11:15	4.27
N	28	11:25	1.96
N	24	11:35	1.68
N	27	11:45	1.89
N	42	11:55	2.94
N	77	12:05	5.39
N	90	12:15	6.3
N	40	12:25	2.8
N	79	12:35	5.53
N	39	12:45	2.73
N	44	12:55	3.08
N	30	13:05	2.1
N	38	13:15	2.66
N	50	13:25	3.5

## APÉNDICE 19

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m2</b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
O	25	7:00	1.75
O	26	7:10	1.82
O	30	7:20	2.1
O	35	7:30	2.45
O	40	7:40	2.8
O	46	7:50	3.22
O	51	8:00	3.57
O	56	8:10	3.92
O	60	8:20	4.2
O	66	8:30	4.62
O	72	8:40	5.04
O	76	8:50	5.32
O	81	9:00	5.67
O	87	9:10	6.09
O	72	9:20	5.04
O	94	9:30	6.58
O	101	9:40	7.07
O	67	9:50	4.69
O	50	10:00	3.5
O	122	10:10	8.54
O	123	10:15	8.61
O	123	10:25	8.61
O	80	10:35	5.6
O	135	10:45	9.45
O	53	10:55	3.71
O	94	11:05	6.58
O	57	11:15	3.99
O	137	11:25	9.59
O	83	11:35	5.81
O	87	11:45	6.09
O	138	11:55	9.66
O	125	12:05	8.75
O	126	12:15	8.82
O	100	12:25	7
O	45	12:35	3.15
O	55	12:45	3.85
O	132	12:55	9.24
O	42	13:05	2.94
O	137	13:15	9.59
O	125	13:25	8.75

## APÉNDICE 20

Cálculo de dosis estándar de eritema (SED) durante toda la jornada laboral.

<b>Finca</b>	<b>Irradiancia W/m2</b>	<b>Med. Horas</b>	<b>SED</b>
P	21	7:10	1.47
P	22	7:20	1.54
P	23	7:30	1.61
P	28	7:40	1.96
P	32	7:50	2.24
P	37	8:00	2.59
P	41	8:10	2.87
P	46	8:20	3.22
P	53	8:30	3.71
P	57	8:40	3.99
P	61	8:50	4.27
P	65	9:00	4.55
P	70	9:10	4.9
P	72	9:20	5.04
P	76	9:30	5.32
P	76	9:40	5.32
P	79	9:50	5.53
P	84	10:00	5.88
P	88	10:10	6.16
P	89	10:20	6.23
P	94	10:25	6.58
P	98	10:35	6.86
P	94	10:45	6.58
P	99	10:55	6.93
P	100	11:05	7
P	100	11:15	7
P	101	11:25	7.07
P	101	11:35	7.07
P	104	11:45	7.28
P	103	11:55	7.21
P	107	12:05	7.49
P	107	12:15	7.49
P	107	12:25	7.49
P	107	12:35	7.49
P	107	12:45	7.49
P	107	12:55	7.49
P	107	13:05	7.49
P	104	13:15	7.28
P	104	13:25	7.28
P	105	13:35	7.35

